

# Supervised Classification of Spectral Signatures from Agricultural Land-Cover in Panama Using the Spectral Angle Mapper Algorithm

Javier E. Sánchez-Galán

Facultad de Ingeniería de

Sistemas Computacionales (FISC)

Universidad Tecnológica de Panamá

javier.sanchezgalan@utp.ac.pa

Jorge Serrano Reyes

Centro de Producción

e Investigaciones Agroindustriales (CEPIA)

Universidad Tecnológica de Panamá

jorge.serrano1@utp.ac.pa

José Ulises Jiménez

Centro de Investigaciones

Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH)

Universidad Tecnológica de Panamá

ulises.jimenez@utp.ac.pa

Evelyn Itzel Quirós-McIntire

Instituto de Investigación

Agropecuaria de Panamá (IDIAP)

Penonomé, Panamá

evelynitzel26@gmail.com

José R. Fábrega

Centro de Investigaciones

Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH)

Universidad Tecnológica de Panamá

jose.fabrega@utp.ac.pa

**Abstract**—In this article the development of a database of referenced spectral signatures from agricultural land-cover for the Republic of Panama is presented. This database consists of reflectance spectra measured on crops and low vegetation, such as: rice, chili, onion, watermelon, maize and bare soil and of satellite images of their plots. Details of the integration process of the database and software developed for the manipulation of spectral signatures, are described. The Spectral Angle Mapping algorithm (SAM) is used for the supervised classification of the agricultural coverages in the database. On the one hand, results indicate the possibility of using this classification technique for the automatic determination of crops and even different phenological stages in a crop via a satellite image. On the other hand, results highlight the limitations of using this technique on recently planted crops and soil flooded by rain or with soil cultivated with a low agricultural cover crop. We foresee the use of this methodology and database for agricultural land surveys, crop management or used in the general organization of the territory.

**Keywords**—Spectral library, remote sensing, supervised classification, spectral signature, satellite image, agricultural land-cover

## I. INTRODUCCIÓN

El espectro electromagnético interactúa con la materia en una relación balanceada que indica que la luz que incide sobre un cuerpo será proporcional a luz que es transmitida (medida a través de la transmitancia), absorbida (medida a través de la absorbancia) y reflejada (medida a través de la reflectancia) del cuerpo en una unidad de tiempo [1]. De hecho, existen instrumentos llamados espectrorradiómetros que nos ayudan a medir la distribución de potencia espectral por longitudes de onda (bandas) específicas y nos da una forma de cuantificación en valores de como interactúa la energía con la materia.

**Corresponding author:** jose.fabrega@utp.ac.pa

Con el espectrorradiómetro podemos medir la cantidad de radiación reflejada en distintas longitudes del espectro; y nos presenta una muestra de la relación entre el flujo de la radiación incidente y la reflejada, obteniendo así una medida de referencia radiométrica o una firma espectral propia del tipo de cobertura vegetal, sea cultivada o silvestre [2]. El conjunto de estas medidas generalmente se les llama *huellas espectrales* o como le llamaremos en este trabajo, *firmas espectrales*.

La medición de firmas espectrales para cultivos agropecuarios es de especial interés en la agricultura de precisión, ya que nos sirven para conocer del estado fitosanitario (salud del cultivo) y del estado fenológico del cultivo (determinar si su crecimiento y desarrollo es aceptable dada la edad del cultivo) [3].

El proyecto SENACYT IDDS 15–184 propone el diseño de un sistema experto basado en firmas espectrales de coberturas agropecuarias, tomando como caso de estudio principal los cultivos de arroz en Panamá [1]. El proyecto tiene como objetivo: 1) el desarrollo de una base de datos de firmas espectrales georreferenciadas de coberturas de cultivos y vegetación baja (biblioteca de firmas espectrales) y su integración con imágenes satelitales, 2) desarrollo de herramientas de software para manipulación de las firmas espectrales y 3) automatizar la clasificación de tipos de coberturas agrícolas, en este trabajo se abordan aspectos de los 3 objetivos descritos, poniendo mas atención a un método de clasificación automática de coberturas agrícolas.

En el presente trabajo se abordan las consideraciones de diseño y estructuración de la base de datos propuesta en el proyecto IDDS 15 – 184. En la Sección II se explica en detalle el procedimiento realizado para obtener las firmas espectrales. En la Sección III se describe el procedimiento de integración y ajuste de imágenes satelitales a la base de datos de firmas. En

las Sección IV se hace referencia a la estructuración de la base datos, haciendo especial interés a los métodos de clasificación automática de las firmas espectrales a través del método de Mapeo del Ángulo Espectral (MAE, o SAM por sus siglas en inglés) y su implementación en el lenguaje de programación Python, para su análisis. En la Sección V se presentan los resultados de la aplicación del método MAE a un grupo de firmas satelitales específicas. Finalmente, en la Sección VI se agregan comentarios, referentes al uso de la base de datos y otros métodos de clasificación automática en estudios futuros.

## II. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN Y RECOLECCIÓN DE FIRMAS ESPECTRALES

### A. Instrumentos de Medición

Como se mencionó en la introducción, generalmente en estudios similares se hace uso del espectrorradiómetro para obtener firmas espectrales de cultivos. En nuestro proyecto se utilizó un espectrorradiómetro portátil Modelo GER 1500 del fabricante Spectra Vista Corporation Ger 150 (<http://www.spectravista.com/ger1500>). Este espectrorradiómetro cuenta con un rango espectral que va desde los 350 nm a los 1050 nm de longitud de onda, además de un campo de visión (Field of View o FOV en inglés) ajustable de 8°.



Fig. 1. Adquisición de firmas espectrales de un cultivo con el uso del espectrorradiómetro.

Para la captura de datos de la firma espectral se realiza un muestreo preferencial, esto se logra tomando, al rededor de 10 réplicas de la firma espectral del tipo de cobertura identificada *a priori*, en puntos relativamente homogéneos. También se debe señalar que antes de cada medición sobre una cobertura de cultivo objetivo se hace una medición en blanco como medida de reflectancia de referencia, sobre una superficie semi-lambertiana calibrada, de color blanco, y conocida como *Spectralon*, también fabricado por Spectra Vista Corp.

Generalmente las mediciones en campo se realizan con un cielo despejado y se asegura que la medición entre la referencia (*spectralon*) y el cultivo de objetivo sea lo más rápido posible, ya que la condición de luz solar y su energía incidente puede variar rápidamente, y es especialmente afectada por la aparición de nubes. En la Figura 1, se muestra el uso del espectrorradiómetro y el *Spectralon*, utilizado para obtener las firmas de referencia.

Una vez las firmas espectrales son capturadas sobre el cultivo, éstas son guardadas en el espectrorradiómetro como

archivos de texto plano en formato *.asc*, que contienen aparte del registro de la firma espectral (fecha y hora de la adquisición), la información espectral en el rango de 350 nm y 1050 nm de longitud de onda (100 puntos). Finalmente, son transformados a formato *.txt* o *.csv* y guardados bajo un nombre clave, que hace referencia al cultivo y la fecha de la medición.

### B. Sitios de Medición

Las mediciones espectrorradiométricas se realizaron en campo, en los meses de verano (entre enero y julio), en el espacio de 2 años (2017 y 2018) y en horas de abundante luz solar, generalmente entre las 10:00 a.m. y 2:30 p.m. Las mismas son georreferenciadas utilizando un equipo de GPS portátil.

Para la toma de datos espectrorradiométricos de cultivos agropecuarios se contó con el apoyo y permiso del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) para obtener mediciones en 3 fincas en la Provincia de Coclé, Panamá:

- 1) *Sitio 1*: Finca privada TESKO, localizada en Juan Hombrón (8°19'N, 80°13' O.)
- 2) *Sitio 2*: Finca experimental del IDIAP, localizada en el Sub-Centro "Pacífico Marciaga" en El Coco, Penonomé (8°27'N, 80°21' O.)
- 3) *Sitio 3*: Finca experimental del IDIAP, localizada en Río Hato (8°21'N, 80°9' O.)

En la Figura 2 se muestra la ubicación geográfica de las fincas y de las parcelas que se utilizaron en este estudio.

### C. Coberturas Agropecuarias y de Vegetación Natural Baja

Como se ha mencionado en la sección introductoria, para el desarrollo de este proyecto se ha utilizado como estudio de caso el cultivo arroz, en especial variedades suministradas y manejadas por el IDIAP.

En el Cuadro I se listan algunas de las coberturas agropecuarias que conforman la biblioteca actual de firmas espectrales. Además, se describe el sitio, fecha de su medición y el número total de las firmas espectrales existentes en la base de datos. Es necesario notar que la base de datos también contiene firmas espectrales de otros cultivos como lo son: arroz (6 variedades, descritas con mayor detalle en [9]), ají, cebolla (*Granex*), sandía, maíz y suelo desnudo.

Como ejemplo visual de como se ven estas firmas espectrales se muestra un análisis realizado en [10] sobre la variedad de arroz IDIAP 52-05 a diferentes días de siembra (DDS).

## III. AJUSTE Y MANIPULACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES

Como se menciono en los objetivos, además del uso de firmas espectroradiométricas, en este proyecto se propone el uso de imágenes satelitales, como fuente de medidas espectroradiométricas externas y entre otras razones para validación. Para esta tarea se eligió las imágenes provenientes de los satélites de la Empresa *PlanetScope*.

TABLE I  
CULTIVOS CON FIRMAS ESPECTRALES PRESENTES EN LA BASE DE DATOS

Cobertura	Sitio	Material	Días de Siembra	Número de Firmas	Fecha de Medición <sup>a</sup>
Arroz ( <i>Oryza sativa</i> )	Juan Hombrón	IDIAP 38	13	42	21/06/2017
			18	95	07/07/2017
		IDIAP 52-05	13	24	20/04/2017
			28	22	05/05/2017
			47	32	24/05/2017
			67	57	14/06/2017
			82	28	28/06/2017
			97	28	14/07/2017
			97*	17	14/07/2017
			116	27	09/09/2017
			116*	15	09/09/2017
		IDIAP FL137-11	48	44	10/01/2018
			63	140	25/01/2018
			77	55	08/02/2018
			83	27	16/02/2018
			97	53	21/02/2018
			104	53	28/02/2018
			109	51	05/03/2018
	Río Hato	IDIAP FL137-11	116	47	12/03/2018
			26	27	28/03/2018
			40	27	11/04/2018
			55	27	26/04/2018
			62	26	03/05/2018
			68	27	09/05/2018
			75	27	16/05/2018
			83	27	24/05/2018
			89	27	30/05/2018
		IDIAP 52-05	103	27	13/06/2018
			110	24	20/06/2018
			26	27	28/03/2018
			40	27	11/04/2018
			55	27	26/04/2018
			62	27	03/05/2018
			68	27	09/05/2018
			75	27	16/05/2018
			83	27	24/05/2018
89	27	30/05/2018			
103	27	13/06/2018			
110	27	20/06/2018			

<sup>a</sup>Los días están dados en el formato dd/mm/aaaa.

\*Cultivos con posible enfermedad.

#### A. Descarga de Imágenes Satelitales de PlanetScope

El área de estudio se definió como el territorio comprendido entre el corregimiento de Antón, con coordenadas 8°25'N 80°16'O; y el corregimiento de Río Hato, con coordenadas 8°22'48'N 80°10'12'W. Los mismos están localizados en el distrito de Ancón, provincia de Coclé, Panamá.

Se trabajó con el polígono exacto medido en campo. Para tal fin, se usaron las coordenadas de los puntos medidos en campo, y se tomaron los puntos de los bordes y los extremos a fin de formar un polígono. Las coordenadas del polígono son 4 puntos como se lista a continuación:

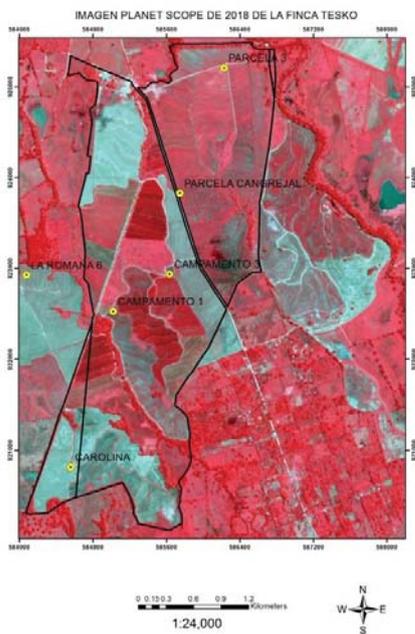
- 1) 920757.68 N y 584436.09 E
- 2) 920718.36 N y 584545.32 E
- 3) 920822.46 N y 584602.76 E
- 4) 920893.83 N y 584531.64 E

Para normalizar la comparación de las imágenes se descargaron mosaicos o imágenes satelitales de los polígonos arriba descritos en fechas en las cuales también existen mediciones

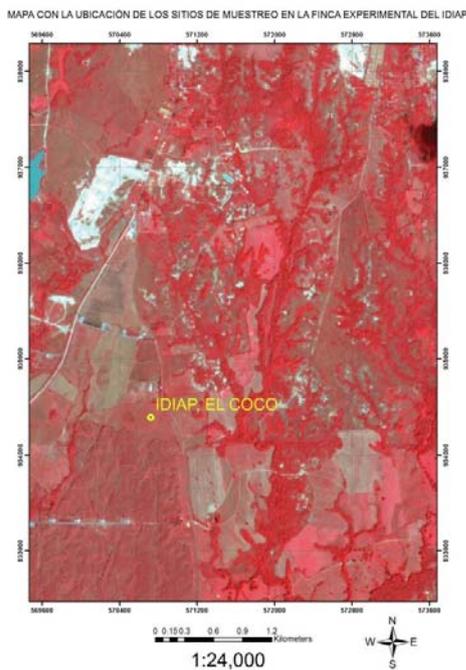
de firmas espectrales en campo. Estas fechas se describen en el Cuadro II.

Lo que se busca es que la imagen satelital, haya sido capturada lo más cercano a las horas en que se realizó una medición de campo (descrito en la subsección II). En el caso que no se haya realizado en ese día se toma como referencias las tomadas el día inmediatamente anterior o inmediatamente siguiente al día en que se hicieron mediciones en campo. Además de esto, se verifica que las imágenes disponibles para los días seleccionados fueran apropiadas, es decir que cumplan con los siguientes requisitos:

- 1) Que cubriera el área de estudio (fincas y parcelas) en la cual se realizan las mediciones en campo. Es necesario decir que todas las imágenes cubren el área de estudio, ya que el polígono seleccionado (arriba descrito) cubre un área mucho mayor a la de las parcelas específicas.
- 2) Que no tuviera nubosidad. En otras palabras obtener una imagen que permitiera que el área de estudio se apreciara de manera correcta.



(a) Imagen de satélite PlanetScope del área de la finca TESKO



(b) Localización de las parcelas del IDIAP en "El Coco"

Fig. 2. Localización de Parcelas del Estudio

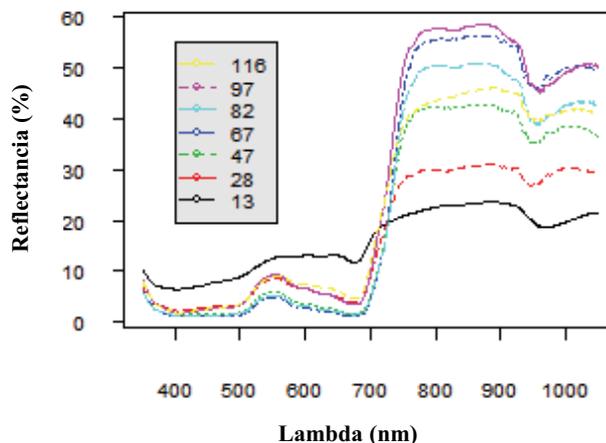


Fig. 3. Firma espectral de la variedad IDIAP 52-05 a diferentes días de siembra (Fuente: Adaptada de [10]).

TABLE II  
CUADRO COMPARATIVO ENTRE FECHAS DE COLECCIÓN DE FIRMAS ESPECTRALES E FECHA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES<sup>c</sup>

Firma Espectral	Imágen Satelital
-	24/12/2016
02/08/2017	19/09/2017
10/01/2018	12/01/2018
25/01/2018	25/01/2018
08/02/2018	07/02/2018
16/02/2018	15/02/2018
21/02/2018	22/02/2018
28/02/2018	27/02/2018
-	03/03/2018
-	04/03/2018
05/03/2018	05/03/2018
12/03/2018	10/03/2018
03/04/2018	-
15/04/2018	-
03/05/2018	-
08/05/2018	-

<sup>b</sup>Los días están dados en el formato dd/mm/aaaa.

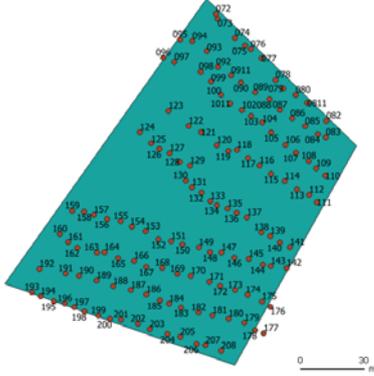
Estos criterios también atienden a la necesidad que la licencia obtenida por el proyecto tenía limitaciones, es decir, solo permitía descargar una cierta cantidad de hectáreas en el plazo de un mes.

La Figura 4a muestra una imagen satelital descargada. Cabe destacar que estas imágenes aun no están listas para ser usadas, ya que se requieren dos últimos pasos: 1) ubicar lugares o sitios de interés que estén en los polígonos de la imagen (ver Figura 4b), ya que lo realmente interesante son los valores espectrales (firmas) que conforman estas imágenes, como se describen en el Cuadro III. Estas bandas obtenidas por medidas de satélite pueden compararse con las medidas tomadas a través de espectrorradiómetro haciendo las transformaciones que se describen en la siguiente subsección.

La corrección atmosférica se realizó con el algoritmo 6S versión 2.1, con modelo de contenido de aerosol continental y datos del espesor óptico suministrados por imágenes del



(a) Mosaico de Imagen Satelital Reconstruida a partir de bandas espectrales



(b) Extracción de los valores en las coordenadas de muestro de campo del 8 de febrero del 2018 sobre la parcela Carolina.

Fig. 4. Trabajo sobre imágenes satelitales del área de estudio

TABLE III  
CUADRO DE BANDAS Y VALORES CON LAS CUALES SE CONFORMAN LAS IMÁGENES DEL SATÉLITE *PlanetScope*

Banda Espectral	Rango (en nm)
$\lambda_1$ - Azul	455 - 515
$\lambda_2$ - Verde	500 - 590
$\lambda_3$ - Rojo	590 - 670
$\lambda_4$ - Infrarrojo	780 - 860

satélite MODIS. Con esta corrección se obtiene una estimación de la reflectancia a nivel de la superficie terrestre.

La metodología de corrección atmosférica aplicada a los productos de *PlanetScope* tienen algunas limitantes como necesitar traslape con las áreas medidas con el satélite MODIS y la falta de corrección en presencia de nubes delgadas o neblina. Para tales casos como trabajo futuro es necesario el diseño de sistemas de medición en tierra de bajo costo configurables al ancho de banda del satélite.

#### B. Integración por Bandas en Firmas Espectrales

Para poder realizar una comparación exitosa entre las firmas espectrales medidas por espectrorradiómetro y los valores provenientes de las imágenes espectrales es necesario integrar los valores de reflectancia obtenidos en campo al formato descrito en el Cuadro III.

#### IV. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Para el la automatización de la clasificación de tipos de coberturas agrícolas a partir de imágenes satelitales se eligió un método simple de clasificación supervisada llamada el

método de Mapeo del Ángulo Espectral. El cual consiste en calcular el ángulo que se forma entre los vectores que conforman las medidas espectrorradiométricas y las medidas extraídas de imágenes de satélite.

Es necesario aclarar que las medidas espectrorradiométricas previamente deben ser integradas en las bandas  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  y  $\lambda_4$  como se describen en la Subsección III-B.

Este ángulo se calcula obteniendo la relación descrita en la ecuación 1, en la que  $x$  será nuestro vector incógnita o mas bien el vector los valores para las bandas obtenidas del satélite del cual queremos conocer su relación con los valores del vector  $r$  o nuestro vector de referencia con valores medidos en campo a través del uso del espectrorradiómetro.

$$\alpha = \cos^{-1} \left( \frac{\vec{x} \cdot \vec{r}}{\|\vec{x}\| \cdot \|\vec{r}\|} \right) \quad (1)$$

La importancia de este método radica en que en ausencia de datos de covarianza (o de otras variables representativas), los ángulos espectrales se pueden usar para clasificar los conjuntos de espectros desconocidos contra espectros de referencia, basándose en la idea de similitud, donde básicamente un ángulo menor se distingue como mayor cercanía con la referencia [4], [5]. Este método ha sido utilizado ampliamente para sensado remoto de cultivos [6], [7] y en específico para el caso arroz [8].

#### V. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Usando una selección de las imágenes satelitales con fechas más cercanas a las fechas de medición, como se describió en el Cuadro II, para una variedad de arroz (IDIAP FL 137-11) e imágenes integradas contienen medidas de bosques y caminos se procedió a calcular el MAE, tomando como referencia datos de firmas espectrales descritos en la Sección I, transformados como se describe en la subsección III-B, de arroz de la variedad IDIAP FL 137-11, IDIAP 52-05, firmas de bosques y caminos; además se distingue suelo (en preparación). Como ejemplo en la Figura 5 se muestra la comparación visual entre una firma espectral extraída de una imagen satelital y una firma espectral proveniente de la Base de Datos, ambas dadas en valores para las bandas espectrales  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  y  $\lambda_4$ .

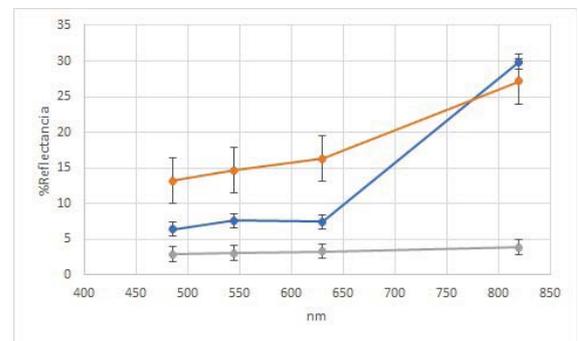


Fig. 5. Comparación entre Firmas Satelitales de bosque-camino (en azul), Firma Espectral de Suelo (en naranja) y Firma Espectral de Suelo Quemado (en gris).

En los Cuadros IV y V se muestran los resultados de la comparación, distinguiendo en la primera fila la firma con menor ángulo y en la segunda fila la firma con mayor ángulo. Además, en formato de fuente **negrita** se distinguen los 5 mayores y 5 menores ángulos obtenidos de estas comparaciones.

TABLE IV  
ÁNGULO ESPECTRAL OBTENIDO ENTRE MEDIDAS SATELITALES DE VARIEDADES DE ARROZ Y FIRMAS ESPECTRALES EN LA BASE DE DATOS

Firma Satelital	Firma Espectral	Ángulo
25/12/2017	12/03/2018 IDIAP FL137-11	0.206
	08/02/2018 IDIAP FL137-11	0.492
26/12/2017	12/03/2018 IDIAP FL137-11	0.111
	28/03/2018 Suelo Quemado	0.473
12/01/2018	28/02/2018-IDIAP FL137-11	<b>0.066</b>
	28/03/2018 Suelo Quemado	0.641
25/01/2018	28/02/2018 IDIAP FL137-11	<b>0.062</b>
	28/03/2018 Suelo Quemado	<b>0.663</b>
07/02/2018	04/04/2018 Cebolla	<b>0.052</b>
	28/03/2018 Suelo Quemado	<b>0.679</b>
15/02/2018	04/04/2018 Cebolla	<b>0.036</b>
	28/03/2018 Suelo Quemado	<b>0.693</b>
22/02/2018	05/03/2018 IDIAP FL137-11	0.088
	28/03/2018 Suelo Quemado	0.542
03/03/2018 <sup>c</sup>	12/03/2018 IDIAP FL137-11	0.097
	28/03/2018 Suelo Quemado	0.474
05/03/2018	12/03/2018 IDIAP FL137-11	<b>0.072</b>
	28/03/2018 Suelo Quemado	0.530
10/03/2018	28/03/2018 Suelo Quemado	0.186
	8/2/2018 IDIAP FL137-11	<b>0.661</b>
03/05/2018 <sup>d</sup>	28/03/2018 Suelo Quemado	0.152
	8/02/2018 IDIAP FL137-11	<b>0.698</b>

<sup>c</sup>IDIAP FL137-11

<sup>d</sup>IDIAP 52-05

TABLE V  
ÁNGULO ESPECTRAL OBTENIDO ENTRE MEDIDAS SATELITALES DE BOSQUES Y CAMINOS Y FIRMAS ESPECTRALES EN LA BASE DE DATOS

Firma Satelital	Firma Espectral	Ángulo
25/12/2017	12/03/2018 IDIAP FL137-11	0.226
	08/02/2018 IDIAP FL137-11	<b>0.522</b>
26/12/2017	12/03/2018 IDIAP FL137-11	0.169
	08/02/2018 IDIAP FL137-11	0.464
12/01/2018	12/03/2018-IDIAP FL137-11	<b>0.136</b>
	28/03/2018 Suelo Quemado	0.432
25/01/2018	12/03/2018 IDIAP FL137-11	<b>0.099</b>
	28/03/2018 Suelo Quemado	0.471
07/02/2018	12/03/2018 IDIAP FL137-11	<b>0.124</b>
	28/03/2018 Suelo Quemado	0.434
15/02/2018	12/03/2018-IDIAP FL137-11	<b>0.133</b>
	08/02/2018 IDIAP FL137-11	0.429
22/02/2018	12/03/2018 IDIAP FL137-11	0.182
	08/02/2018 IDIAP FL137-11	0.478
03/03/2018	12/03/2018 IDIAP FL137-11	0.235
	08/02/2018 IDIAP FL137-11	<b>0.539</b>
03/03/2018 <sup>e</sup>	28/03/2018 Suelo Quemado	<b>0.051</b>
	08/02/2018 IDIAP FL137-11	<b>0.807</b>
04/03/2018	12/03/2018 IDIAP FL137-11	0.141
	08/02/2018 IDIAP FL137-11	0.442
05/03/2018	12/03/2018 IDIAP FL137-11	0.199
	08/02/2018 IDIAP FL137-11	<b>0.500</b>
10/03/2018	12/03/2018 IDIAP FL137-11	0.270
	08/02/2018 IDIAP FL137-11	<b>0.571</b>

<sup>e</sup>Suelo en Preparación

## VI. CONCLUSIONES

Las firmas espectrales sirven como una manera rápida y proximal de saber el estado de un cultivo, por lo que esta base de datos, una vez puesta en línea, será útil para investigadores en campos relacionados a la generación de mapas de uso de tierra y otros usos relativos al manejo de cultivos a gran escala con métodos de teledetección hiperespectral.

Se distingue que este trabajo es exploratorio y se requiere trabajos futuros. Aunque el MAE es una forma rápida de clasificar las firmas espectrales a partir de imágenes satelitales, se reconoce que en el caso de tener como referencia cultivos en diferentes etapas fenológicas es posible que el clasificador confunda suelo recién sembrado de arroz (o con pocos días de siembra), con el suelo anegado por lluvia, o con suelo cultivado con coberturas agrícolas bajas, tipo cebolla o sandía.

La importancia del presente artículo redundante en que en nuestro país se tiene muy poca experiencia en este tipo de desarrollos tecnológicos, que pueden ser de mucha importancia para el sector agropecuario.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean dar las gracias a la Secretaría Nacional de Ciencias, Tecnología e Innovación (SENACYT) por su apoyo a través del proyecto “Diseño de un sistema experto basado en firmas espectrales de coberturas agropecuarias en Panamá” (IDDS 15-184). Queremos expresar nuestra gratitud a todos los colaboradores del Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnica (CIHH), del Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales (CEPIA) y del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), que contribuyeron con este proyecto, Especialmente al Dr. Alexis Baules y la Estudiante Karen Young, en la colección y manejo de las imágenes satelitales. Finalmente, tres de los autores, E.Q.-M., J.F. y J.S.-G. son miembros y agradecen el apoyo del Sistema Nacional de Investigación (SENACYT).

## REFERENCES

- [1] J. Serrano, J. Fábrega, E. Quirós, J. Galán and J. Jiménez, “Análisis Prospectivo de la Detección Hiperespectral de Cultivos de Arroz (*Oryza Sativa* L.)”, KnE Engineering, vol. 3, no. 1, p. 69, 2018. Available: 10.18502/keg.v3i1.1414.
- [2] E. Chuvieco Salinero, “Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio”. 3ra, 2010 ed. Barcelona, España: Ariel, 2002.
- [3] Y. de Moura et al., “Spectral analysis of amazon canopy phenology during the dry season using a tower hyperspectral camera and modis observations”, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 131, pp. 52-64, 2017. Available: 10.1016/j.isprsjprs.2017.07.006
- [4] Y. Sohn and N. S. Rebello., “Supervised and Unsupervised Spectral Angle Classifiers,” Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 68, No. 12, December 2002, pp. 1271-1280.
- [5] Rashmi S et al., “Spectral Angle Mapper Algorithm for Remote Sensing Image Classification,” International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology (IJSET), Vol. 1 Issue 4, June 2014. ISSN 2348-7968
- [6] E. Makinde, A. Salami, J. Olaleye and O. Okewusi, “Object Based and Pixel Based Classification Using Rapideye Satellite Imager of ETI-OSA, Lagos, Nigeria”, Geoinformatics FCE CTU, vol. 15, no. 2, p. 59, 2016. Available 10.14311/gi.15.2.5.
- [7] G. Petropoulos, K. Vadrevu and C. Kalaitzidis, “Spectral angle mapper and object-based classification combined with hyperspectral remote sensing imagery for obtaining land use/cover mapping in a Mediterranean region”, Geocarto International, vol. 28, no. 2, pp. 114-129, 2013. Available: 10.1080/10106049.2012.668950.

- [8] S. Garcia and L. J. Martinez., "Método para identificación de cultivos de arroz (*Oryza sativa* L.) con base en imágenes de satélite", *Agronomía Colombiana* , Vol. 28 No.2, pp. 281-290, 2010. ISSN: 2357-3732.
- [9] J. Jiménez, E. Quirós-Mcintire, V. Camargo-García, J. Serrano, J. Sanchez-Galan and J. Fábrega, "Caracterización morfológica y espectral de 6 variedades criollas de arroz (*Oryza sativa* L.) en Panamá", In *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*; Vol. 2018-July. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions. Available: 10.18687/LACCEI2018.1.1.143
- [10] J. Serrano, J. Jimenez, J. Fabrega, J. Sanchez-Galan and E. Quirós, "Detección de índice de área foliar por firma espectral de cultivo de arroz", In *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*; Vol. 2018-July. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions. Available: 10.18687/LACCEI2018.1.1.303