

Clasificación Supervisada de Firmas Espectrales de Coberturas Agropecuarias en Panamá Utilizando el Mapeo del Ángulo Espectral

Javier E. Sánchez-Galán

*Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
javier.sanchezgalan@utp.ca.pa*

Jorge Serrano

*Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
jorge.serrano1@utp.ac.pa*

José Ulises Jiménez

*Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnica
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
ulises.jimenez@utp.ac.pa*

Evelyn Itzel Quirós-McIntire

*Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá
(IDIAP)
Penonomé, Panamá
evelynitzel26@gmail.com*

José Fábrega*

*Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnica
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
jose.fabrega@utp.ac.pa*

Resumen—En este trabajo se presentan consideraciones el desarrollo de una base de datos de firmas espectrales georreferenciadas de coberturas de cultivos agropecuarios y vegetación baja, conocida como biblioteca de firmas espectrales, para la República de Panamá y su integración con imágenes satelitales. Además, el desarrollo de herramientas de software para la manipulación de las firmas espectrales y la automatización de la clasificación de tipos de coberturas agrícolas, utilizando como método de clasificación supervisado el algoritmo de Mapeo del Ángulo Espectral (MAE, o SAM por sus siglas en inglés), para la detección de semejanzas entre las firmas espectrales obtenidas en campo a través de un espectrorradiómetro portátil (como espectros de referencia) y se usan firmas satelitales obtenidas mediante imágenes satelitales de las parcelas del estudio (como espectros de prueba). Los resultados indican la posibilidad de utilización de esta técnica supervisada, además se prevé hacer que la base de datos de firmas espectrales, así como los resultados de esta clasificación sean de acceso público para investigadores en campos relacionados a la gestión y uso de la tierra u organización del territorio, y otros usos relativos al manejo de cultivos a gran escala con métodos de teledetección a través de imágenes multiespectrales e hiperspectrales.

Index Terms—aprendizaje automático, clasificación supervisada, firma espectral, imagen satelital, coberturas agropecuarias

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.

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].

*Autor de Correspondencia: jose.fabrega@utp.ac.pa

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 más 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 la Sección IV se hace referencia a la estructuración de la base de 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

II-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 [4]). 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°.



Figura 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.

II-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:

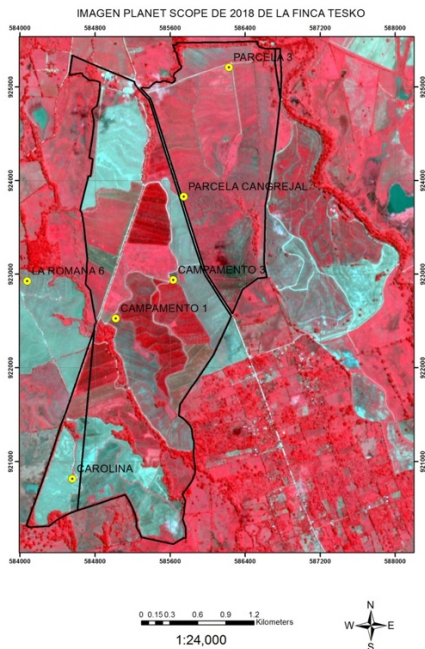
1. *Sitio 1*: Finca privada TESKO, localizada en Juan Hombrón (8°19'N, 80°13' O.)
2. *Sitio 2*: Finca experimental del IDIAP, localizada en el Sub-Centro “Pacífico Marciaga” en El Coco, Penonomé (8°27'N, 80°21' O.)
3. *Sitio 3*: Finca experimental del IDIAP, localizada en Río Hato (8°21'N, 80°9' O.)

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

II-C. Coberturas Agropecuarias y de Vegetación Natural Baja

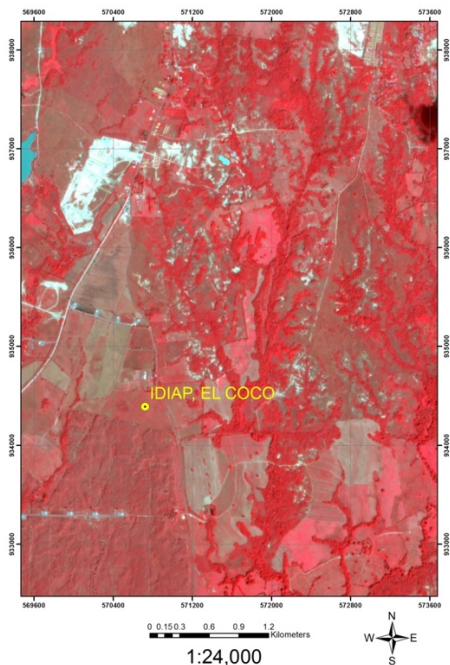
Como se ha mencionado en la sección introductoria, para el desarrollo de este proyecto se ha utilizado como estudio de caso el cultivo arroz, en especial variedades suministradas y manejadas por el IDIAP.

En el Cuadro I se listan algunas de las coberturas agropecuarias que conforman la biblioteca actual de firmas espectrales.



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

MAPA CON LA UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO EN LA FINCA EXPERIMENTAL DEL IDIAP



(b) Localización de las parcelas del IDIAP en “El Coco”
 Figura 2: Localización de Parcelas del Estudio

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 [8] sobre la variedad de arroz IDIAP 52-05 a diferentes días de siembra (DDS).

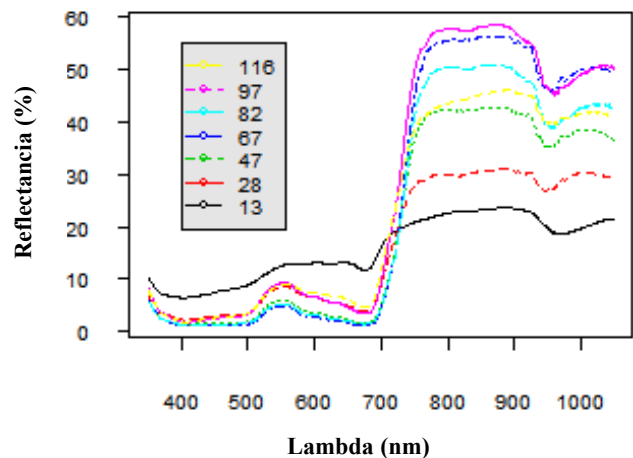


Figura 3: Firma espectral de la variedad IDIAP 52-05 a diferentes días de siembra (Adaptada de [8]).

III. AJUSTE Y MANIPULACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES

Como se menciona en los objetivos, además del uso de firmas espectralradiométricas, 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*.

III-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

Cuadro I: Cultivos con Firmas Espectrales Presentes en la Base de Datos

Cobertura	Sitio	Material	Días de Siembra	Número de Firmas	Fecha de Medición ^a
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
		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
	116	47		12/03/2018	
	Río Hato	IDIAP FL137-11	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
			103	27	13/06/2018
			110	24	20/06/2018
		IDIAP 52-05	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			

^aLos días están dados en el formato dd/mm/aaaa.

*Cultivos con [osible enfermedad].

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 mas 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.

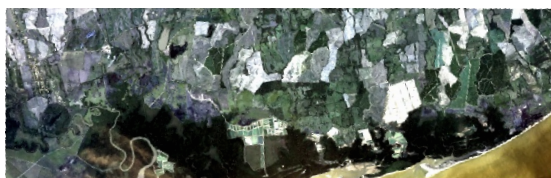
Cuadro II: Cuadro Comparativo entre Fechas de Colección de Firmas Espectrales e Fecha de Recuperación de Imágenes Satelitales^c

Firma Espectral	Imagen 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	-

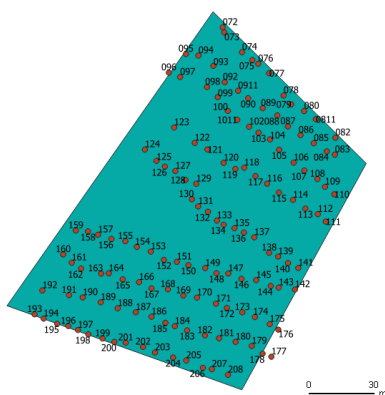
^bLos días están dados en el formato dd/mm/aaaa.

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.



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



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

Figura 4: Trabajo sobre imágenes satelitales del área de estudio

Cuadro III: Cuadro de bandas y valores con las cuales se conforman las Imágenes del Satélite *PlanetScope*

Banda Espectral	Rango (en nm)
λ_1 - Azul	455 - 515
λ_2 - Verde	500 - 590
λ_3 - Rojo	590 - 670
λ_4 - Infrarrojo	780 - 860

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 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.

III-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 λ_1 , λ_2 , λ_3 y λ_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.

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

Este método es importante ya 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 [5]–[7].

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 λ_1 , λ_2 , λ_3 y λ_4 .

En los Cuadros IV y V se muestran los resultados de la comparación, distinguiendo en la primera fila la firma con

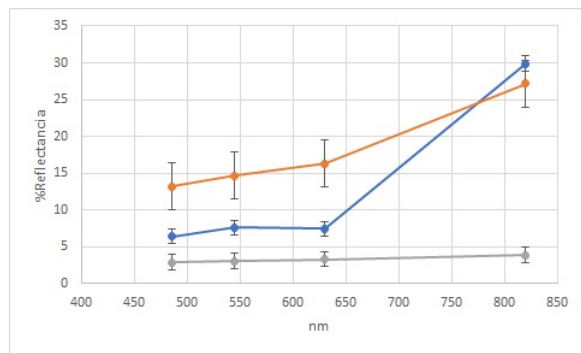


Figura 5: Comparación entre Firmas Satelitales de bosque-camino (en azul), Firma Espectral de Suelo (en naranja) y Firma Espectral de Suelo Quemado (en gris).

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.

Cuadro 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	0.066
	28/03/2018 Suelo Quemado	0.641
25/01/2018	28/02/2018 IDIAP FL137-11	0.062
	28/03/2018 Suelo Quemado	0.663
07/02/2018	04/04/2018 Cebolla	0.052
	28/03/2018 Suelo Quemado	0.679
15/02/2018	04/04/2018 Cebolla	0.036
	28/03/2018 Suelo Quemado	0.693
22/02/2018	05/03/2018 IDIAP FL137-11	0.088
	28/03/2018 Suelo Quemado	0.542
03/03/2018 ^c	12/03/2018 IDIAP FL137-11	0.097
	28/03/2018 Suelo Quemado	0.474
05/03/2018	12/03/2018 IDIAP FL137-11	0.072
	28/03/2018 Suelo Quemado	0.530
10/03/2018	28/03/2018 Suelo Quemado	0.186
	8/2/2018 IDIAP FL137-11	0.661
03/05/2018 ^d	28/03/2018 Suelo Quemado	0.152
	8/02/2018 IDIAP FL137-11	0.698

^cIDIAP FL137-11

^dIDIAP 52-05

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 MEA es una forma rápida de clasificar las firmas espectrales a partir de imágenes satelitales,

Cuadro 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	0.522
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	0.136
	28/03/2018 Suelo Quemado	0.432
25/01/2018	12/03/2018 IDIAP FL137-11	0.099
	28/03/2018 Suelo Quemado	0.471
07/02/2018	12/03/2018 IDIAP FL137-11	0.124
	28/03/2018 Suelo Quemado	0.434
15/02/2018	12/03/2018-IDIAP FL137-11	0.133
	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	0.539
03/03/2018 ^e	28/03/2018 Suelo Quemado	0.051
	08/02/2018 IDIAP FL137-11	0.807
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	0.500
10/03/2018	12/03/2018 IDIAP FL137-11	0.270
	08/02/2018 IDIAP FL137-11	0.571

^eSuelo en Preparación

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).

REFERENCIAS

- [1] J. Serrano, J. Fábrega, E. Quirós, J. Sanchez-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. M. de Moura, et al., "Spectral analysis of amazon canopy phenology during the dry season using a tower hyperspectral camera and modis observation" SPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing
- [4] Spectra Vista Corporation. Ger 150. URL: <http://www.spectravista.com/ger150/>
- [5] Youngsinn Sohn and N. Sanjay Rebello., "Supervised and Unsupervised Spectral Angle Classifiers," Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 68, No. 12, December 2002, pg. 1261.
- [6] 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
- [7] 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.
- [8] 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: 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Innovation in Education and, 19-21 July 2018, Lima, Peru.
- [9] J. Jiménez, E. Quirós-Mcintire, V. Camargo-García, J. Serrano, J. Sanchez-Galan and J. Fabrega, "Caracterización morfológica y espectral de 6 variedades criollas de arroz (*Oryza sativa* L.) en Panamá", In: 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Innovation in Education and, 19-21 July 2018, Lima, Peru.