

Radioespectroscopía de campo para áreas de resiembra de palma aceitera africana en el Pacífico de Costa Rica

Ramón Masís Campos¹

Jonnathan Reyes Chaves²

Rafael Arce Mesén³

Rubén Martínez Barbáchano⁴

Resumen

El presente trabajo permitió caracterizar espectralmente la palma africana a escala foliar, por medio de trabajo de campo con un radioespectrometro portátil en plantaciones en el Pacífico Central y Sur de Costa Rica. Se recopiló firmas espectrales de palmas sanas, enfermas y con deficiencias nutricionales. Para su registro geográfico, espectral y fitosanitario se diseñó e implementó una Geodatabase. La determinación de firmas permite desarrollar bibliotecas espectrales de diferentes tipos de vegetación, suelos y aguas. Además permite mejores clasificaciones de imágenes satelitales que derivan cartografía temática o calcular múltiples índices de vegetación, entre otros. La vegetación sana tiene una reflectividad baja en el visible aunque tiene un pico en el verde debido a la presencia de la clorofila. El comportamiento espectral en la vegetación enferma tiene una baja en la curva de reflectividad en el infrarrojo y aumenta la reflectividad en las longitudes de onda del rojo y azul. También la reflectividad de una planta depende de su contenido en agua.

Palabras clave: Espectrometría de campo. Comportamiento espectral. Plantaciones de Palma. Costa Rica.

Introducción

La vegetación tiene un comportamiento espectral según la especie, contenido de humedad, la estructura de su follaje, salud, estado fenológico, pigmentación (clorofila, xantofila o carotenoides). En la agricultura, los análisis espectrales tienen cada día más relevancia con los productores de los principales cultivos de Costa Rica (café, banano, caña de azúcar, piña, palma aceitera, arroz, otros), además facilita la intervención técnica de agrónomos y fisiólogos vegetales, debido a sus bondades para realizar inferencias sobre su estado fitosanitario (detección temprana de plagas, enfermedades, deficiencias nutricionales o disponibilidad de agua).

En el país se han implementado iniciativas, por medio de diversas investigaciones para construir bibliotecas mediante la colección de diversos comportamientos espectrales mediante la espectrometría de campo. Por ejemplo, el Programa de Investigaciones Aerotransportadas y Sensores Remotos (PRIAS) tiene como objetivo desarrollar una metodología para la toma de comportamientos

1 Universidad de Costa Rica (UCR), máster en SIG y TD. ramon.masiscampos@ucr.ac.cr.

2 Universidad de Costa Rica (UCR), máster en SIG y TD. jonnathan.reyeschaves@ucr.ac.cr.

3 Universidad de Laval, doctor en Geografía. rafael.arce@ucr.ac.cr.

4 Universidad de Valladolid, máster en SIG y TD. ruben.martinezbarbachano@ucr.ac.cr.

espectrales de diferentes coberturas vegetales (café, piña, minerales) para su incorporación en imágenes hiperespectrales.

De la misma manera, el equipo técnico de CARTA 2005 colectó de manera experimental 45 tipos diferentes de comportamientos espectrales (asfalto, caña de azúcar, yuca, pasto, maíz, rocas, cenizas, agua, otros), distribuidos por el país en sitios como: Turrialba, Volcán Arenal e Irazú, Sierpe, La Selva, Santa Rosa, Los Inocentes, Ciruelas y Tilarán. Su recopilación tenía como objeto su utilización en la clasificación de imágenes hiperespectrales Hymap. También Alfaro (2009), aplicó espectroradiometría en campo para la detección de enfermedades en plátano y banano en una finca en el cantón Osa como parte de su trabajo final de graduación para optar al título de máster en SIG y Teledetección, UNA-UCR.

Finalmente, el valor agregado de la determinación de firmas espectrales en campo permite al analista de imágenes hiperespectrales (Hyperion, Hymap, AVIRIS, HYDICE, otros) la corrección radiométricamente, desarrollar bibliotecas espectrales de diferentes coberturas (vegetación, suelos, aguas), obtener mejores clasificaciones de coberturas que derivan cartografía de la distribución de las masas forestales, cultivos, pastizales para grandes extensiones geográficas o generar diferentes tipos de índices de vegetación, índices de área foliar, biomasa, otros.

Área de estudio

En 1944, la United Fruit Company introdujo la palma aceitera en Quepos, Costa Rica. Dos décadas, la compañía Grupo NUMAR expandió el cultivo a la zona de Coto, donde se plantaron 2.800 ha (CORTÉS, 1994).

El último Censo Agropecuario 2014 de Costa Rica, registró que el país tenía unas 66.419 ha sembradas de palma aceitera. La mayoría de las fincas están concentradas en la vertiente Pacífico (Parrita, Quepos, Osa, Corredores, Golfito, Pérez Zeledón) con el 87% de las plantaciones y algunos sectores en el Caribe, especialmente en Matina y Guácimo.

Tanto en el Pacífico Central y Sur, el cultivo es producido en cooperativas, compañías y productores particulares. Según Canapalma (2014), en el país el 63.7% de las áreas sembradas están en manos de pequeños productores independientes y cooperativas. A nivel nacional se estima que hay unos 2.100 productores asociados al cultivo.

Entre las agroproductoras más importantes en el área de estudio están: Coopecalifornia, Coopesilencio, Palmatica, CoopeAgropal, Coopevaquita, CIPA, Coopeguaycará, Coopesur, Sermucoop, Coopegamba, Coopetriunfo, Coodesa, Coopeintegración, Coopesierreacantillo, Surcoop, Coopetriunfo, entre otros.

Dentro de la delimitación de la presente investigación (FIGURA 1), se abarca los cantones de la provincia de Puntarenas productores de palma: Parrita, Aguirre, Osa, Golfito y Corredores. Esta región se orienta de oeste a suroeste entre las coordenadas geográficas: 9°38'N, 84°33'O y 8°2'N, 82°49'O, a lo largo de 220 km y cubre unos 5.347 km² (casi un 9,5 % del territorio nacional).

Figura 1 – Área de estudio: Pacífico Central y Sur de Costa Rica.



Fuente: Proyecto B6003. Universidad de Costa Rica (2017).

Cultivo de estudio

En el país existen al menos 8 variedades “tradicionales” de palma (Deli x Nigeria, Deli x Ghana, Deli x Ekona, Deli x Lame, Deli x Yangambi, Deli x Avros, Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona), sin

embargo desde el 2004 que se comercializan clones de alta densidad como: Themba, Zeus, Titán, Tornado, entre otros (ASD Costa Rica) (TABLA 1).

Tabla 1 – Variedades de palma aceitera africana identificadas en el trabajo de campo.

Característica	Compacta x Nigeria	Ghana	Themba	Evolution	Tornado Amarillo	Clon Sunrise	Drake A
Crecimiento del tronco (cm/año)	40-45	-	58	50-55	24,1	28,4	32
% aceite en racimo	20-30	31,2	27,5	>30	26,7	28,6	32,2
Tamaño del fruto	9-11 g	-	Grandes	>11 g	12,9 g	8,2 g	9,2 g
Peso del racimo (kg)	18-22	-	5,6 (primer año)-13,1 (quinto año)	>22	14,9	-	18,5 (promedio de 5-7 años dds)
Tolerancia a la luminosidad	Moderada a baja luminosidad	-	Adaptada a baja luminosidad	Moderada a la baja luminosidad	-	-	-
Tolerancia a la temperatura	Moderada al frío	Tolerante a bajas temperaturas	-	Moderada a las bajas temperaturas	-	-	-
Tolerancia a la sequía	Moderada-alta	Tolerante a déficit hídrico	Adaptada a déficit anual de hasta 300mm	Moderada	-	-	-
Largo de la hoja	660-690 cm	Cortas	630 cm (hoja 17 al quinto año)		598 cm (9 años dds)	727 cm (9 años dds)	699 cm (10 años dds)
Resistencia a plagas/enfermedades	Tolerancia moderada al trastorno de la PC o pudrición del cogollo	Tolerante a la pudrición común de flecha	Tolerancia a flecha/arqueo foliar y baja incidencia del anillo rojo	Evolution Blue presenta resistencia moderada a flecha seca	-	-	Tolerante a la pudrición del cogollo
Densidad (plts/ha)	160-180	-	160	-	190 (clon tornado)	-	-
Rendimiento	3,5 (primer año) y 27,5 (quinto año) ton/ha	93,8 kg/palma/año	-	97 kg/palma/año	43,6 ton/ha	41,1 ton/ha	40 ton/ha (promedio de 8-11 años dds)

Fuente: Recopilado de ASD Costa Rica (2017).

Para el desarrollo óptimo de la palma en Costa Rica, la Cámara Nacional de Productores de Palma (CONAPALMA) sugiere las siguientes condiciones agroecológicas:

1. Siembra desde 0 a 400 metros sobre el nivel del mar, con suelos limosos profundos y bien drenados.
2. Temperaturas promedio anuales entre 23° C y 27° C. Además se requiere una insolación de unas 5 horas al día.
3. Precipitaciones entre 1750 y 2000 mm anuales, con una distribución de 150 mm por mes.

No obstante, el sistema productivo de la palma aceitera africana es susceptible a diversas plagas, enfermedades, deficiencias nutricionales o tipos de estrés (TABLA 2).

Tabla 2 – Plagas, enfermedades, deficiencias nutricionales y estrés en la palma aceitera africana.

Plagas	Enfermedades	Deficiencias nutricionales	Estrés
Zompopas, Opsiphanes cassina, Acharia hyperoche, Oiketicus kirby, Stenoma cecropia, Automeris sp, Chupadores homópteros, Rhynchophorus palmarum, Strategus aloeus, Rhinostomus barbirostris, Sagalassa valida, ratas, taltuzas.	Anillo rojo, Pestalotiopsis, Mycosphaerella elaeidis, Marchitez sorpresiva, Marchitez sorpresiva, Anillo clorótico, Pudrición de flecha común, Arqueo foliar, Pudrición severa del cogollo, Pudrición del cogollo clásica, Mancha anular, Pudrición basal húmeda seca, corchosa, Marchitez por Fusarium.	N, K, Mg, B, P	Déficit hídrico

Fuente: Chinchilla [sin fecha].

Material y métodos

Para el trabajo de campo, el proyecto utilizó un espectroradiómetro FieldSpec HandHeld 2 ASD (Analytical Spectral Devices). Su rango espectral comprende los 325 nm y 1075 nm, con una precisión de 1 nm. Es decir, cubre aproximadamente desde el azul al infrarrojo cercano.

Chuvieco (2002), señala que existen una serie de factores que pueden modificar la captura de los comportamientos espectrales como: el ángulo de iluminación solar (se debe considerar la hora y la fecha durante el año), la orientación de las laderas por donde ingresa el ángulo de iluminación, la influencia de la atmósfera, especialmente el papel de las nubes en la absorción o dispersión de diferentes longitudes de onda, la condición fenológica, de suelos u otras condiciones ambientales.

La recopilación de los comportamientos espectrales se hicieron en condiciones atmosféricas soleadas durante las 8:00 am y las 2:00 pm. Calibrando con un panel de referencia blanco (spectralon, politetrafluorotileno sintético) con dimensiones de 5,1 x 5,1 cm a 30,5 cm x 30,5 cm, para optimizar el instrumento, regulando el tiempo de integración de acuerdo a la intensidad de la luz utilizada, de esta manera se evitó saturar el FieldSpec HandHeld 2 (FIGURA 2).

Figura 2 – Espectroradiómetro de campo.



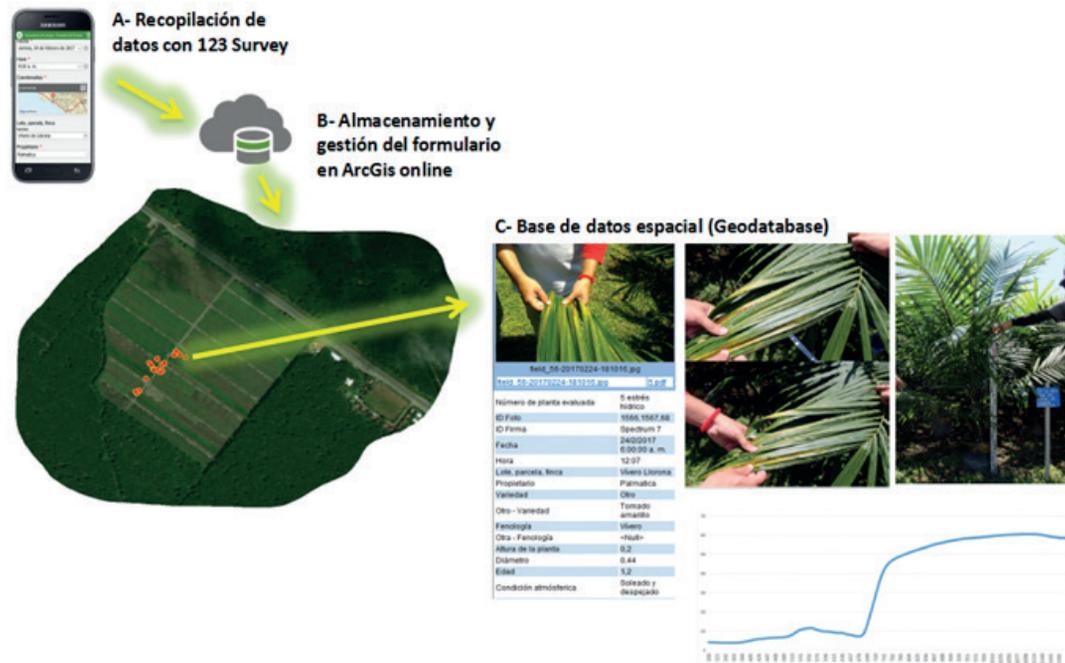
Fuente: Proyecto B6003. Universidad de Costa Rica (2017).

En la colecta del comportamiento espectral foliar de la palma se consideró para la medición la hoja número 9, en aquellas plantas menores de 3 años y la número 17 para palmas más adultas. La selección de las hojas obedece a que es la hoja más representativa según estado fonológico de la hoja en ese momento. Al mismo tiempo, con el fin de mejorar la descripción del comportamiento espectral, se diseñó e implementó una Geodatabase de ESRI (FIGURA 3) para levantar datos asociados a cada planta estudiada como: altura, diámetro, edad, fecha, hora, condición atmosférica, variedad, propietario, registros fotográficos, evaluación fitopatológica y fenológica de la planta in situ. En campo, la información fue recopilada con la aplicación para Android Survey123 y administrada con ArcGis Online.

Para el procesamiento de datos, la descarga de los comportamientos espectrales del espectroradiómetro se realizó con el software RS3 y la manipulación de los archivos de extensión *.asd se realizó con ViewSpec Pro. Con esta herramienta, se puede graficar el comportamiento espectral y convertir los datos como ficheros ASCII o txt para adjuntarlos a la base de datos.

Además, se usó el software SAMS, creado por la Universidad de California/Davis que permite administrar y analizar bases de datos espectrales con sus metadatos para su incorporación en bibliotecas espectrales para introducir al software ENVI. Este tipo de estudios tiene un carácter más de carácter de representación gráfica y de almacenamiento de los datos para que sirva de insumo para posteriores estudios.

Figura 3 – Diseño e implementación de la base de datos espaciales de las firmas espectrales.



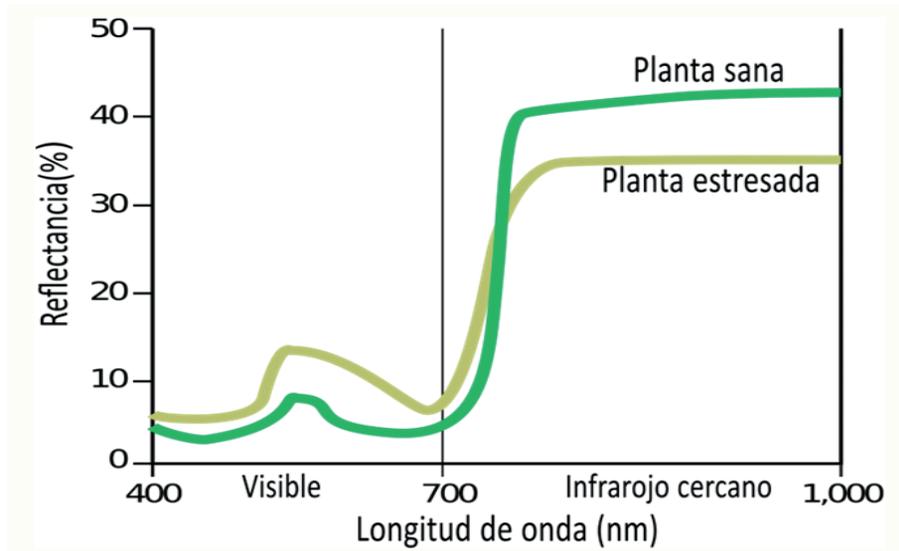
Fuente: Proyecto B6003. Universidad de Costa Rica (2017).

Resultados y discusión

En general, los comportamientos espectrales de la vegetación manifiestan una variabilidad por la presencia de pigmentos, estructura celular (formas y tipo de hoja) y el contenido de humedad. En el espectro visible las plantas se caracterizan por una baja reflectividad en el visible, debido a que todos los pigmentos absorben las longitudes de onda entre los 445 nm y 645 nm, excepto en la banda intermedia de 550 nm (verde), donde refleja un poco más la energía electromagnética (FIGURA 4).

En contraste a una hoja enferma, esta aumenta la presencia de carotenos respecto al decrecimiento de la clorofila. Espectralmente tiene un incremento de la reflectividad en el rojo. La elevada reflectividad en el infrarrojo cercano se debe a la baja absorptividad de la clorofila, estructura celular y el contenido de agua de la hoja.

Figura 4 – Respuesta espectral típica de la vegetación sana y estresada.



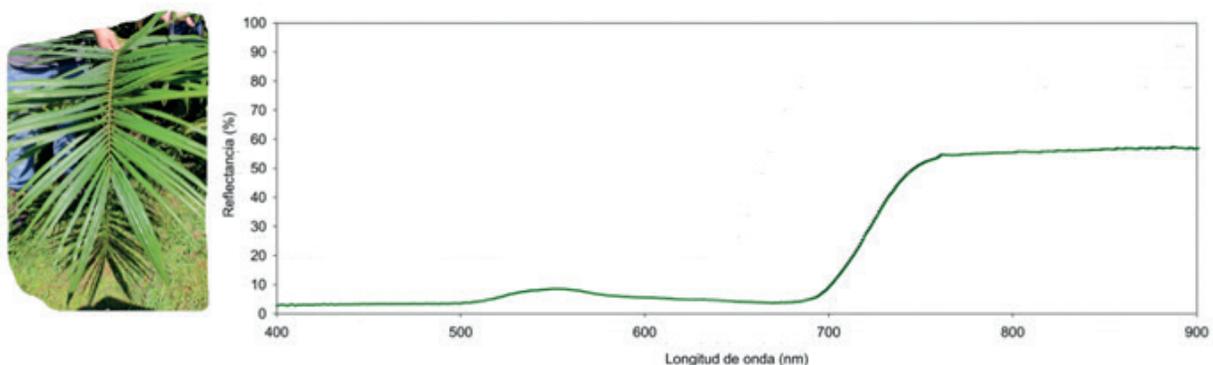
Fuente: Modificado de GREENSEEKER™ (2017).

Caracterización espectral de la palma aceitera sana

La vegetación sana tiene una reflectividad baja en el visible aunque tiene un pico en el verde debido a la presencia de la clorofila. También la reflectividad es muy alta en el infrarrojo próximo debido a la escasa absorción de energía por parte de las plantas en esta banda.

En el caso de la Figura 5 corresponde a una palma joven en condiciones sanas que tiene una reflectancia en el verde (525 nm-605 nm) entre un 3 y 4% más alta que las longitudes de onda del espectro visible que se extiende entre el azul (325-525 nm) y rojo (655-700 nm). Pero, es en el infrarrojo cercano (700 nm-1025nm) donde se refleja más energía que la que absorbe, más del 50% de la energía es reflejada en esa región del espectro electromagnético

Figura 5 – Comportamiento espectral promedio de la palma sana en el estado fenológico en vivero.



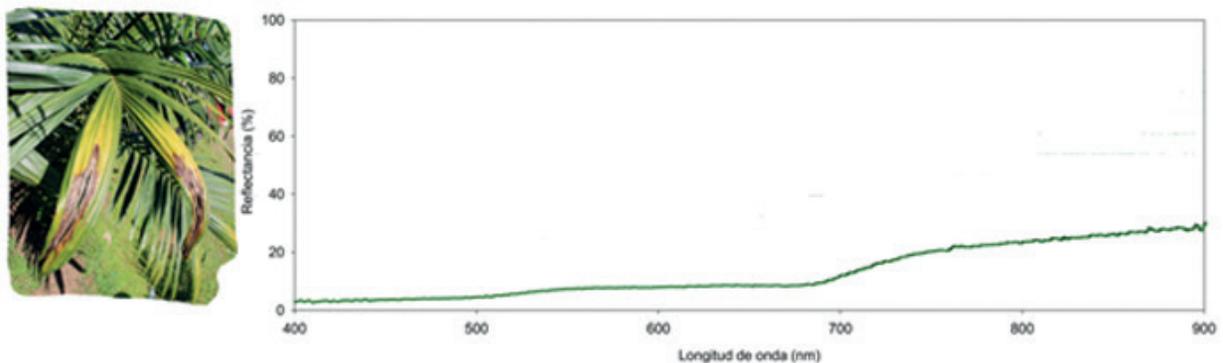
Fuente: Proyecto B6003. Universidad de Costa Rica (2017).

Caracterización espectral de la palma aceitera enferma o muerta

El comportamiento espectral en la vegetación enferma tiene una baja en la curva de reflectividad en el infrarrojo y aumenta la reflectividad en las longitudes de onda del rojo y azul. También la reflectividad de una planta depende de su contenido en agua. Cuando el contenido humedad aumenta disminuye la reflectividad, ya que crece la absorción de radiación por parte del agua contenida en la planta.

El déficit hídrico (FIGURA 6) en la palma se manifiesta con el amarillamiento y muerte de hojas bajas e incluso doblamiento del cogollo. El comportamiento espectral tiene una reflectancia baja en el visible e infrarrojo cercano respecto a una palma sana. No obstante, entre la región entre 700 y 750 nm (Far red), la reflectancia aumenta entre un 30 y 50%.

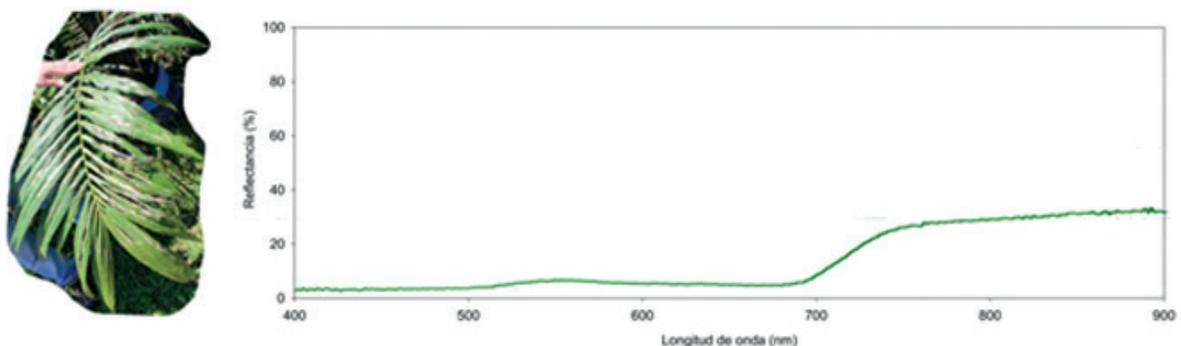
Figura 6 – Comportamiento espectral de la palma aceitera con estrés hídrico en vivero.



Fuente: Proyecto B6003. Universidad de Costa Rica (2017).

La antracnosis es una enfermedad común en plantas juveniles. Dominguez y otros (2012) indican que la lesión más frecuente se localiza en la parte distal de los folíolos. El desarrollo incluye el crecimiento de manchas que se tornan de un color pardo oscuro rodeado por un halo amarillento (FIGURA 7).

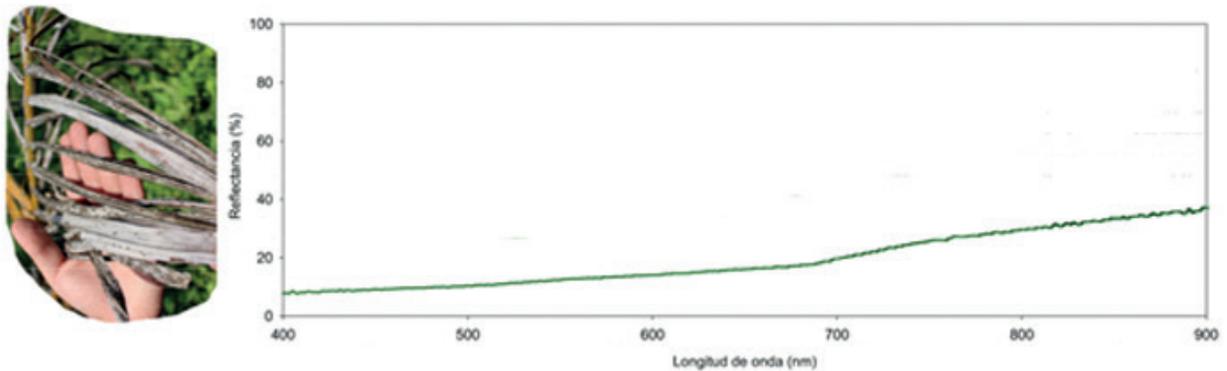
Figura 7 – Comportamiento espectral de palma aceitera con Antracnosis sp en estado fenológico en vivero.



Fuente: Proyecto B6003. Universidad de Costa Rica (2017).

Por otro parte, en el caso de una hoja enferma la presencia de clorofila se va debilitando y aumenta la dominancia de los pigmentos amarillos, ocres, rojos y naranjas. Cuando las hojas mueren (FIGURA 8), la energía es reflejada en todas las regiones entre 325 y 1025 nm. Especialmente en el infrarrojo cercano donde existen reflectancias cercanas al 70%.

Figura 8 – Comportamiento espectral de palma aceitera muerta.



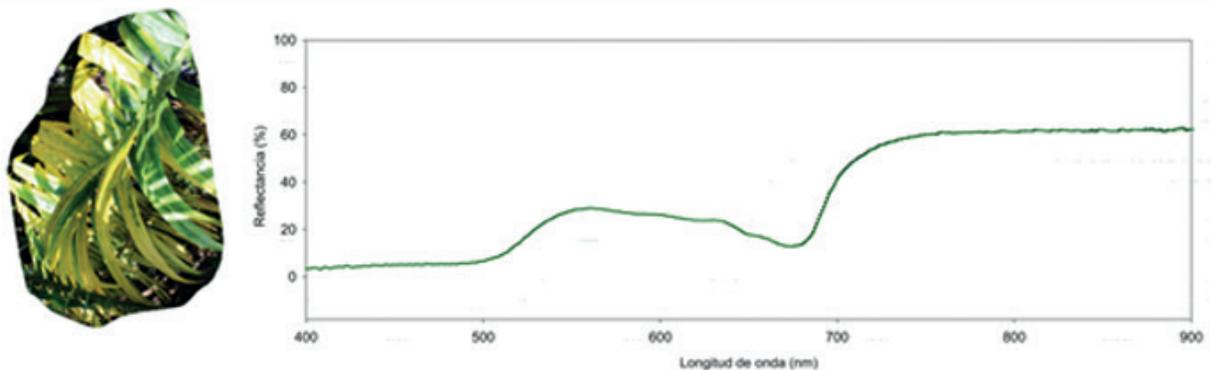
Fuente: Proyecto B6003. Universidad de Costa Rica (2017).

Caracterización espectral de la palma aceitera con deficiencia nutricional

Las deficiencias nutricionales en la palma aceitera son identificadas en evaluaciones particulares. En el caso de las hojas, éstas pueden tornarse amarillas, anaranjadas o manifestar franjas blancuzcas por carencia de N, Mg, P, B, K.

El nitrógeno es un elemento vital en la fotosíntesis. Su carencia torna amarillo pálido el follaje y reduce el tamaño de las hojas y folios. La respuesta espectral manifiesta que las hojas aparecen amarillas debido a que los carotenos y xantofilos absorben la luz azul y reflejan la luz verde y roja. Probablemente porque los carotenos y xantofilos son los dominantes en las hojas, específicamente 645-685 nm (FIGURA 9).

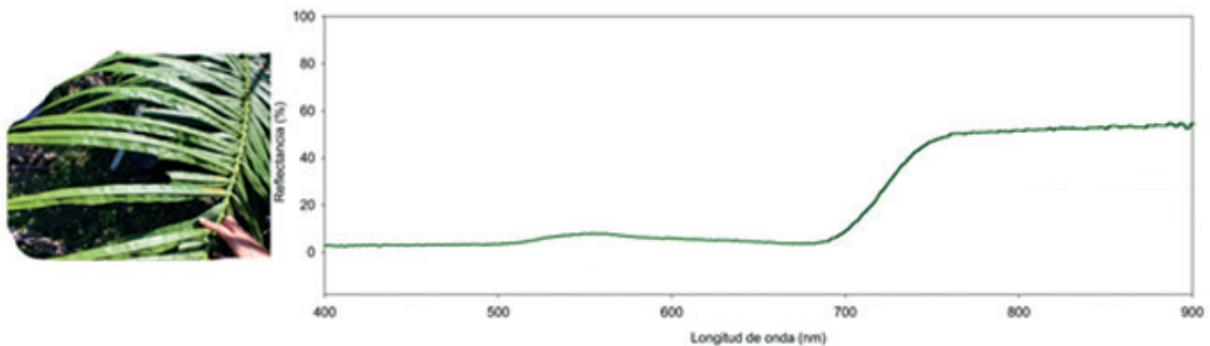
Figura 9 – Comportamiento espectral de palma aceitera con deficiencia de N en estado fenológico en vivero.



Fuente: Proyecto B6003. Universidad de Costa Rica (2017).

Las deformaciones y los corrugamientos en las hojas son respuestas a la falta de boro (FIGURA 10). La palma aceitera es sensible a las bajas concentraciones de este elemento, presentando anomalías en su crecimiento, desarrollo y reproducción. Gutiérrez y Torres (2013) señalan que a nivel de folíolos se observan con frecuencia una coloración verdosa más intensa y texturas arrugadas o risadas.

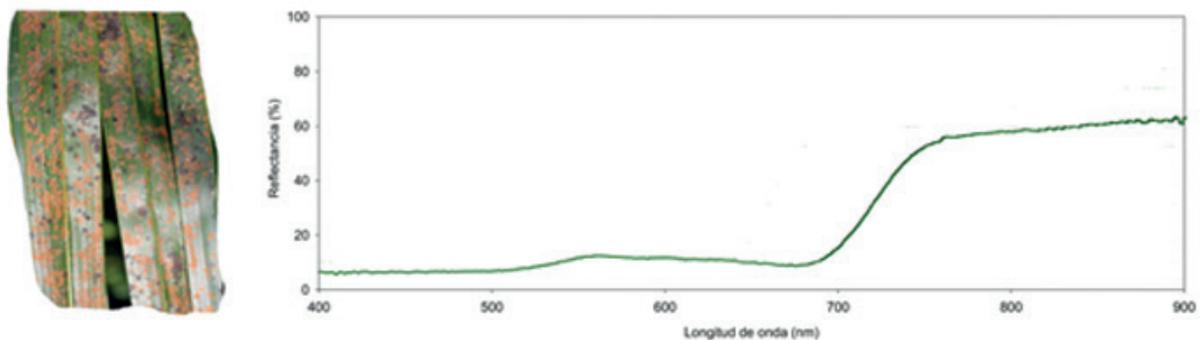
Figura 10 – Comportamiento espectral de palma aceitera con deficiencia de B en estado fenológico en vivero.



Fuente: Proyecto B6003. Universidad de Costa Rica (2017).

Por otro lado, las manchas anaranjadas son señales de bajas concentraciones de potasio (FIGURA 11) y esto ocurre frecuentemente para hojas viejas. En casos graves, los puntos amarillo-naranja se convierten en manchas necróticas. La carencia de este elemento se puede identificar en la región de 650-780 nm, especialmente en las reflectancias a 440, 520, 600 y 720 nm.

Figura 11 – Comportamiento espectral de palma aceitera con deficiencia de K.



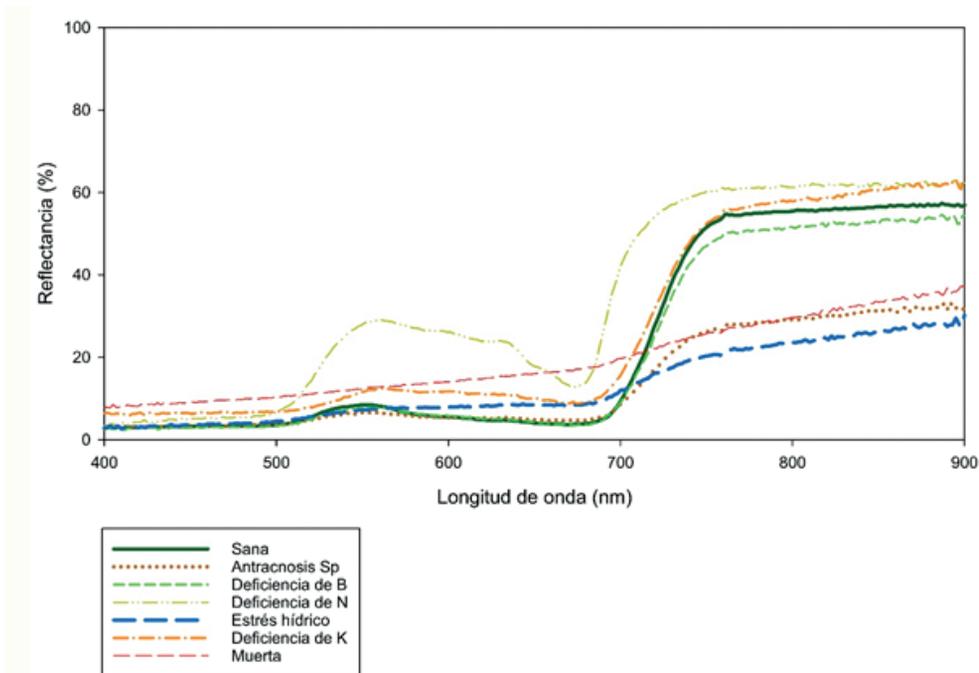
Fuente: Proyecto B6003. Universidad de Costa Rica (2017).

Agrupando, todas las observaciones se obtiene una gráfica que describe el comportamiento de la palma. Según la Figura 12, el porcentaje de la reflectancia en la longitud de onda entre los 500 nm y los 600 nm es la que presenta mayor porcentaje entre las diferentes condiciones principalmente en la hoja con deficiencia de nitrógeno, situación contraria se ve en las hojas que manifiestan Antracnosis sp.

Para el caso de las plantas con estrés hídrico o muertas presentan una curva moderadamente creciente en el porcentaje de la reflectancia en la medida que se acercan al infrarrojo cercano.

El inicio del infrarrojo cercano marca de manera abrupta un cambio en comportamiento de las hojas de palma aceitera que presentan deficiencia de Nitrógeno, Potasio, Boro o de la misma planta sana, llegando a alcanzar valores de reflectancia mayores al 40 %.

Figura 12 – Comportamiento espectral de palma aceitera en diferentes condiciones.



Fuente: Proyecto B6003. Universidad de Costa Rica (2017).

Consideraciones finales

El objetivo de efectuar la caracterización espectral de la palmera, fue con la finalidad de potenciar el uso de esa información a una biblioteca espectral en programas como ENVI para futuras clasificaciones conforme aumente la disponibilidad de imágenes obtenidas de satélites o vehículos aéreos no tripulados. De esta manera, los datos colectados permiten hacer validaciones cruzadas para mejorar el proceso de clasificación de imágenes y los análisis locales o regionales de parte del sector agroproductivo de la palma aceitera (cooperativas, empresas o CANAPALMA en el caso costarricense).

Una limitante técnica detectada en la recolección de firmas espectrales en campo es la variabilidad del tiempo atmosférico (presencia de humedad atmosférica, nubosidad, lluvia, otros) en cortos periodos de tiempo, por lo que se recomienda medir con en el dispositivo leaf clip conectada a una batería autónoma para reducir el ruido entre los 325 - 400 nm y 900 y 1075 nm del FieldSpec HandHeld.

Igualmente, se recomienda que estos estudios espectrales puedan medir en longitudes de onda entre los 1075 nm y 2500 nm, con el fin de identificar el contenido de humedad en la vegetación y analizar especialmente el estrés hídrico. Para esto, se puede medir y registrar con espectrofotómetros de laboratorio por medio del muestreo de folíolos en campo. Otro punto importante a considerar para

futuras investigaciones es hacer el análisis y verificar si las variaciones espectrales (valor medio y desviación estándar) tienen discrepancias suficientes para ser identificadas en una imagen, ya que esta investigación se concentró en los datos levantados en campo.

Finalmente, es importante incluir dentro de los equipos de trabajo las profesiones de diferentes áreas de conocimiento (Geografía, Agronomía, Biología, Física, entre otros) en la construcción de las bibliotecas espectrales.

Agradecimiento

Los investigadores desean manifestar su gratitud a la Vicerrectoría de Investigación de UCR, por su apoyo para financiar el proyecto B6003. De la misma manera, extendemos el agradecimiento a los productores que permitieron el trabajo de campo y a los asistentes del proyecto: María Monge, Jorge Sánchez y Josué Monge.

Field Spectroradiometry for African Oil Palm Plantations in the Pacific of Costa Rica

Abstract

This study allowed the leaf-scale spectral characterization of African oil palm by conducting field work with a portable spectroradiometer in plantations of the Central and South Pacific of Costa Rica. Spectral signatures of healthy, diseased and nutrient-deficient oil palms were collected. A geodatabase was designed and implemented for geographical, spectral and phytosanitary records. Determination of spectral signatures allows developing spectral libraries of different types of vegetation, soils and water. It also improves the classification of satellite images for thematic cartography and provides the calculation of multiple indices, among others. Healthy vegetation presents low reflectivity in the visible, although there is a peak in the green wavelength due to the presence of chlorophyll. The spectral behavior of diseased vegetation shows a reflectivity curve with a decrease in the infrared and an increase in the red and blue wavelengths. Reflectivity also depends on the water content of the plant.

Keywords: Field spectrometry. Spectral behavior. Plantations of Palma. Costa Rica.

Referencias

ACUÑA-RUZ, T.; MATTAR, C.; HERNÁNDEZ, H. J. Caracterización espectral de Quillaja saponaria (Mol). **Revista de Teledetección**, v. 47, p. 65-73, 2016. Disponible en: <http://polipapers.upv.es/index.php/raet/article/view/6488/7137>. Consultado en: 10 marzo 2017.

ALFARO, M. **Uso de espectroradiometría de campo en la detección de enfermedades en cultivos de musáceas: plátano y banano en Osa, Puntarenas, Costa Rica**. Disertación (Magíster en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección), Universidad Nacional-Universidad de Costa Rica, 2009.

ARAQUE, L.; JIMÉNEZ, A. Caracterización de firma espectral a partir de sensores remotos para el manejo de sanidad vegetal en el cultivo de palma de aceite. **Revista Palmas**, v. 30, n. 3, 2009. Disponible en: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1455>. Consultado el: 14 marzo 2017.

CANAPALMA. **Información del Cultivo de Palma en Costa Rica**. 2014. Disponible en: http://www.canapalma.cr/images/CANAPALMA_Informacion_Cultivo_de_PA_en_Costa_Rica_12Dic2014.pdf. Consultado en: 14 marzo 2017.

CHINCHILLA, C. **Una propuesta para el registro de la información durante de las visitas fitosanitarias a las plantaciones de palma aceitera en América Tropical**. Disponible en: http://www.asd-cr.com/images/Propuesta_de_claves_Ene_11.pdf. Consultado en: 8 diciembre 2016.

CHUVIECO, E. **Teledetección Ambiental**, Barcelona, Editorial Ariel, 2002.

CORTÉS, G. **Atlas Agropecuario de Costa Rica**. San José, C. R.: EUNED, 1994.

DOMÍNGUEZ, I.; MOHALI, S.; MARÍN, M.; PINO, H. **Caracterización y variabilidad genética de Colletotrichum gloeosporioides sensu lato en plantaciones de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq) en Venezuela**. *Tropical Plant Pathology*, v. 37, n. 2, p. 108-122, 2012.

GIRALDO, R.; MOLINA, A.; TORRES-LEON, J. L.; ACOSTA, M.; MARTÍNEZ, S. Estudio de firmas espectrales de palmas de aceite afectadas con la Marchitez letal, usando análisis estadísticos de datos funcionales. **Revista Palmas**, v. 37, n. especial, p. 131-139, 2016. Disponible en: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11897>. Consultado el: 16 de abril de 2017.

GUTIÉRREZ, M.; TORRES, J. Síntomas asociados a la deficiencia de boro en la palma aceitera (*Elaeis guineensis jacq.*) en Costa Rica. **Agronomía Mesoamericana**. v. 24, p. 441-449.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). **VI Censo Nacional Agropecuario. Atlas Estadístico Agropecuario**. INEC. San José. C. R. Disponible en: http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/01._atlas_estadistico_agropecuario_2014.pdf. Consultado el: 16 abril 2017.

KALACSKA, M. **Final report Carta 2005 Spectral Data Collection**. 2005, San José, Costa Rica.

MEXZÓN, R.; CHINCHILLA, C. **El gusano túnel, Stenoma cecropia Meyrick en palma aceitera en América Central**. *ASD Oil Palm Papers*. v. 27, p. 32-36, 2004.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA (MAG). **Plan estratégico de la cadena productiva de Palma aceitera. Periodo 2008-2010**. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-4277.pdf> . Consultado el 3 mayo 2016.

MOHD, N.; MOHAMAD, A.; SEMAN, A.; BAHROM, E. El uso de sensores remotos para detectar la infección por Ganoderma. **Revista Palmas**, v. 37, n. especial, p. 140-150, 2016. Disponible en: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11898>. Consultado el: 16 marzo 2017.

NAVARRO, R. Evaluación de las variables biofísicas mediante teledetección en pinares mediterráneos. **Revista Ambienta**, 2013. Disponible en: http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_AM/Ambienta_2013_105_78_88.pdf. Consultado en: marzo 2017.

RODRÍGUEZ, G.; SILVA, R.; CASARES, R.; DÍAZ, A.; BARRIOS, R. Fluctuación poblacional de las fases inmaduras de *Opsiphanes cassina* Felder (Lepidoptera: Nymphalidae) en palma aceitera, estado Monagas, Venezuela. Universidad de Oriente Press. **Revista Científica UDO Agrícola**, v. 12, n. 4, p. 845-854, 2012.

SELVARAJA, S.; BALASUNDRAM, S.; VADAMALAI, G.; HUSNI, M. Use of Spectral Reflectance to Discriminate between Potassium Deficiency and Orange Spotting Symptoms in Oil Palm (*Elaeis guineensis*). **Life Science Journal**, v. 10, n. 4, 2013. Disponible en: http://www.lifesciencesite.com/life1004/121_21167life1004_947_951.pdf. Consultado en: marzo 2017.

THENKABAIL, S. P.; LYON, J. G. **Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation**. Boca Raton: CRC Press, 2011. DOI: 10.1201/b11222.

VILLEGAS, D. **Evaluación de la fertilización de liberación controlada para el primer año en palma aceitera híbrida (*Elaeis oleífera* x *Elaeis guineensis*)**. Tesis Lic. Quito, ECU, Universidad Central del Ecuador, 2015. 98p.

Recibido: 21/06/2017

Aceptado: 28/05/2018