

Una década de investigación en teledetección de la enfermedad *Ganoderma* en Malasia*

A Decade of Research on *Ganoderma* Disease with Remote Sensing in Malaysia



NISFARIZA MOHD NOOR MARIS

Profesora Titular Departamento de Geografía, Facultad de Artes y Ciencias Sociales, University of Malaya
Titular Teacher Department of Geography, Faculty of Arts and Social Sciences

AUTORES: Nisfariza Mohd Noor Maris, Anuar Mohamad Izzuddin, Idris Abu Seman, Malaysian Palm Oil Board (MPOB); Hamzah Arop, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, University of Malaya; Helmi Zulhaidi M. Shafri, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, University of Malaya; Ezzati Bahrom, Departamento de Geografía, Facultad de Artes y Ciencias Sociales, University of Malaya.

CITACIÓN: Noor-Maris, N. M., Seman, I. A., Arop, H., Shafri, H. Z. M., Bahrom, E. (2019). Una década de investigación en teledetección de la enfermedad *Ganoderma* en Malasia. *Palmas*, 40 (Especial Tomo I), 220-230.

PALABRAS CLAVE: índice de gravedad de enfermedad, vehículo aéreo no tripulado (VANT), sistema aéreo, Pudrición basal del estípite.

KEYWORDS: Disease severity index, unmanned aerial vehicle (VANT), air system, Basal stem rot.

*Artículo original recibo en inglés y traducido por Carlos Arenas París.

Resumen

La investigación en el uso de teledetección hiperespectral para la Pudrición basal del estípite (PBE) por *Ganoderma* comenzó en 2007, con el objetivo de lograr una detección temprana. Se utilizaron dos sensores hiperespectrales: portátil (GER1500) y sistemas de generación de imágenes (AISA Eagle) en tres niveles experimentales: vivero, campo y aéreo. Una serie de bandas significativas lograron discriminar la PBE por *Ganoderma* en diferentes niveles de gravedad. Esta investigación ha llevado a un marco y métodos de recolección y análisis de datos hiperespectrales en la palma de aceite. No obstante, el uso de mapeo hiperespectral para las plantaciones

es costoso. En 2013, se voló una plataforma VANT con una cámara R/G/NIR para mapear la gravedad de la enfermedad utilizando varios índices multispectrales. La precisión del R/G/NIR para la detección de PBE por *Ganoderma* fue entre moderada y baja. Actualmente, se ha establecido un índice de gravedad de la enfermedad más completo, para validar la serie de bandas significativas de investigaciones previas en un nuevo sensor hiperespectral aéreo (Pika-L), un sensor multispectral VANT (Sequoia) y uno satelital (Kompsat 3A), y RADAR (ALOS PALSAR). Debe demostrarse que el índice de gravedad de enfermedad (DSI, por su sigla en inglés) y las bandas significativas para la detección de *Ganoderma*, son precisos y confiables para un enfoque de manejo de la enfermedad a gran escala, y para el desarrollo de un índice estándar para la PBE por *Ganoderma* en diferentes sensores.

Abstract

The research on the use of hyperspectral remote sensing for *Ganoderma* Basal Stem Rot (BSR) disease was initiated in 2007 with the key to achieve early detection. Two hyperspectral sensors were employed: handheld (GER1500) and imaging systems (AISA Eagle) at three experiment levels: the nursery, the field and airborne. Series of significant bands were able to discriminate *Ganoderma* BSR at different severity level. This investigation has led to a framework and methods of hyperspectral data collection and analysis in oil palm. Nevertheless, utilizing hyperspectral mapping for oil palm plantation is cost intensive. In 2013, an R/G/NIR on the UAV platform was flown to map the disease severity using several multispectral indices. The accuracy of the R/G/NIR for *Ganoderma* BSR detection is between moderate to low. Currently, a more comprehensive disease severity index was established to validate the series of significant bands in previous research on a different airborne hyperspectral sensor (Pika-L). The significant bands must be proven accurate and reliable for a large-scale disease-management approach and development of standard indices for *Ganoderma* BSR across sensor.

Introducción

La enfermedad de la Pudrición basal del estípote (PBE) en la palma de aceite es causada por el hongo *Ganoderma* spp., transmitido por el suelo. Es la única enfermedad patógena que causa graves daños en los campos de palma en el Sudeste Asiático (Turner y Gillbanks, 2003). Ha generado una pérdida sustancial para la industria de la palma de aceite en Malasia e Indonesia (Idris y Roslan, 2012), que influye en la posterior situación económica. No hay dudas sobre la importancia económica de la PBE, que continuará siendo problemática en la ausencia de medidas de control apropiadas. La enfermedad puede resultar en la muerte del 80 % de las plantas en la mitad de su vida económica, y con frecuencia han ocurrido pérdidas que alcanzan el 50 %. Malaysian Palm Oil Board (MPOB, Junta Malasia de Aceite de Palma), en colaboración con varias universidades locales de Malasia, ha hecho uso extensivo de tecnologías de teledetección para *Ganoderma*.

Las especie más agresiva, que causa la PBE, es *Ganoderma boninense* (Idris, 2011). La propagación de esta se induce por el contacto entre las raíces sanas y heridas, y la abundancia de tejidos enfermos en el suelo. El hongo *Ganoderma* crece a lo largo de la raíz infectada y, finalmente, llega al tronco de la palma. La replantación sucesiva y la posterior generación de palmas de aceite en la misma tierra, resulta en una mayor incidencia de la enfermedad: los síntomas se manifiestan incluso antes que en las generaciones anteriores (Idris, 2011).

Es urgente desarrollar un método rápido y preciso para detectar la enfermedad en las plantaciones de palma de aceite (Nisfariza, 2012). Se han desarrollado varias tecnologías principalmente, el medio selectivo de *Ganoderma* (GSM, por su sigla en inglés) (Ariffin *et al.*, 1993), el ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas de anticuerpos

policlonales (PAbs-ELISA) (Madiah *et al.*, 2014; Idris y Rafidah, 2008), el Kit PCR-ADN Multiplex (Idris *et al.*, 2010a), y la tomografía GanoSken (Idris *et al.*, 2010b). Estas requieren mucho tiempo y una exhaustiva inspección individual de las palmas de aceite. Es necesario crear tecnologías para la detección aérea de PBE con el fin de obtener resultados más pronto, y poder implementar tareas de manejo y control rápidamente, ahorrando costos.

El uso del ojo humano como detector lleva a muertes más severas de las palmas de aceite, porque algunos de los efectos patológicos de *Ganoderma* solo son visibles en las etapas tardías o, en algunos casos, no se pueden ver en absoluto. Los datos de teledetección hiperspectral aérea ofrecen un mejor enfoque para la detección del estrés de la palma de aceite en grandes áreas de siembra (Shafri y Hamdan, 2009). Las imágenes aéreas utilizan espectrometría de imágenes montada en una plataforma que adquiere imágenes en muchas bandas espectrales angostas y contiguas en las porciones visibles, del infrarrojo cercano, del infrarrojo medio y del infrarrojo térmico del espectro (Nisfariza, 2012; Yang *et al.*, 2011; Izzuddin 2010).

Algunos investigadores han explorado en cierta medida, el uso de datos hiperspectrales recolectados usando espectrorradiómetros de mano para la detección temprana de enfermedades y estrés de las plantas (Izzuddin *et al.*, 2017; Nisfariza, 2012; Delalieux *et al.*, 2005; Delalieux *et al.*, 2007). La mayoría correlacionan los índices de la enfermedad y el estado de salud con relaciones, índices y el 'borde rojo' hiperspectral, particularmente con la clorofila, como un excelente indicador para evaluar la senescencia y el estrés, y el estado de las condiciones fisiológicas y patológicas de la vegetación.

Monitorear las áreas agrícolas requiere de mucho tiempo y trabajo, ya que estamos ante un gran espacio de un cultivo homogéneo que se ve similar de un extremo a otro. Las áreas agrícolas están expuestas a varias amenazas, principalmente ambientales, como la lluvia, sequía y neblina; y a amenazas al organismo, como enfermedades de patógenos y plagas. Por lo tanto, la detección y control de plagas y enfermedades son etapas importantes del manejo agrícola. Las prácticas de cultivo, junto con el control bio-

lógico y químico, son consideradas como el mejor enfoque para controlar las enfermedades y plagas. Pero, al hablar de detección, surgen problemas con la revisión visual y el muestreo de grandes sitios. La teledetección proporciona una posible solución al muestreo intensivo requerido para el manejo de plagas en sitios específicos.

El propósito de la agricultura de precisión es tener conocimiento de los cultivos para aumentar el rendimiento y reducir los costos operativos. Como punto de partida, la investigación en agricultura de precisión es costosa, especialmente si se utilizan tecnologías hiperspectrales. El costo de cada misión hiperspectral en Malasia puede variar entre USD 15.000 y 30.000, dependiendo del sensor, la plataforma y el área de cobertura. Normalmente, la investigación se realiza para atender o responder varias preguntas de conocimiento sobre ciertas cosas e incertidumbres sobre muchas otras. La mayoría de estudios se realizan para analizar y resolver un problema, sin conocer factores relacionados u otros factores que contribuyen a los mismos.

El uso de la teledetección como una herramienta en agricultura ha proporcionado a la agroindustria una renovada manera de abordar el manejo y la toma de decisiones. A su debido tiempo, el costo de la agricultura de precisión se reducirá y se introducirán nuevos avances tecnológicos. En últimas, todos estos avances tecnológicos tienen como objetivo reducir el costo del manejo integral de la plantación y aumentar la rentabilidad a largo plazo.

Una breve hoja de ruta de la investigación sobre la Pudrición basal del estípite por *Ganoderma* en Malasia

La Tabla 1 muestra la hoja de ruta de la investigación en teledetección para *Ganoderma* en MPOB.

Área de estudio

El área de estudio de la investigación se encuentra ubicada en varios viveros y plantaciones en Malasia Peninsular, principalmente en Perak y Selangor.

Tabla 1. Hoja de ruta de la investigación en teledetección para *Ganoderma*.

Año	Proyecto	Descripción	Equipo	Índice de gravedad de la enfermedad	Métodos	Hallazgos/ Conclusión
2007 2008 2009 2010 2011	Teledetección hiperespectral de detección temprana para la enfermedad de <i>Ganoderma</i>	Idea inicial de teledetección hiperespectral para la detección de la enfermedad de <i>Ganoderma</i> Investigación fundamental Experimentos en viveros. Experimentos en palma joven. Experimentos en palma madura	Espectrorradiómetro GER 1500 Sistema de imágenes hiperespectrales AISA DUAL	Establecimiento de DSI para palmas de vivero, jóvenes y maduras para la detección temprana de <i>Ganoderma</i>	Análisis espectral, índice hiperespectral de vegetación, rangos de banda, continuo eliminado, bandas significativas	El DSI es demasiado optimista para lograrlo. Los resultados del análisis espectral proporcionan bandas significativas en los tres niveles de experimentos Mapeo GIS del censo de suelos
2013	Uso de VANT RGB/NIR	Mapeo de PBE por <i>Ganoderma</i> utilizando una plataforma multiespectral en VANT	Canon IXUS (modificada) RGBNIR en Swinglet	Nuevo DSI para mapeo multiespectral	Clasificación supervisada con y sin filtrado, y con varios tamaños de ventana	Resultados moderados al utilizar RGB/NIR en VANT para la detección de <i>Ganoderma</i> en plantaciones
2017	Imágenes de alta resolución para la detección de <i>Ganoderma</i>	Mapeo de PBE por <i>Ganoderma</i> utilizando una plataforma satelital de imágenes multiespectrales de alta resolución	Imagen satelital Kompsat 3A, Parrot Sequoia RG/NIR/RedEdge en Ebee	Restablecimiento de un nuevo DSI para la detección de <i>Ganoderma</i> , que incluye más variación en la gravedad de la enfermedad	En progreso	En progreso
2018	Teledetección hiperespectral	Validación de bandas significativas de las campañas hiperespectrales anteriores	Espectrorradiómetro ASD Pika-L Resonon Generador de imágenes hiperespectrales		En progreso	En progreso
2019	Teledetección óptica y por microondas con fusión de datos	Establecer un análisis de datos de fusión de imagen para la detección de la enfermedad <i>Ganoderma</i> , utilizando RADAR e imágenes multiespectrales de alta resolución	ALOS-PALSAR, Komsat 3		En progreso	En progreso

Censo de suelos

Se realizó el censo de suelos para registrar la ubicación de palmas de aceite sanas y enfermas en el área de estudio. Las infectadas fueron categorizadas en grupos definidos, utilizando un índice de gravedad de la enfermedad (DSI) para PBE en la palma de aceite, y un DSI recién desarrollado para el mapeo hiperspectral actual. La infección con PBE en cada cultivo de palma de aceite fue confirmada con el medio selectivo de *Ganoderma* (GSM). Este usa muestras de tejido del tallo, el tronco o la raíz de la palma de aceite

para confirmar la existencia del patógeno *Ganoderma*. Las muestras se recolectaron utilizando la técnica de perforación.

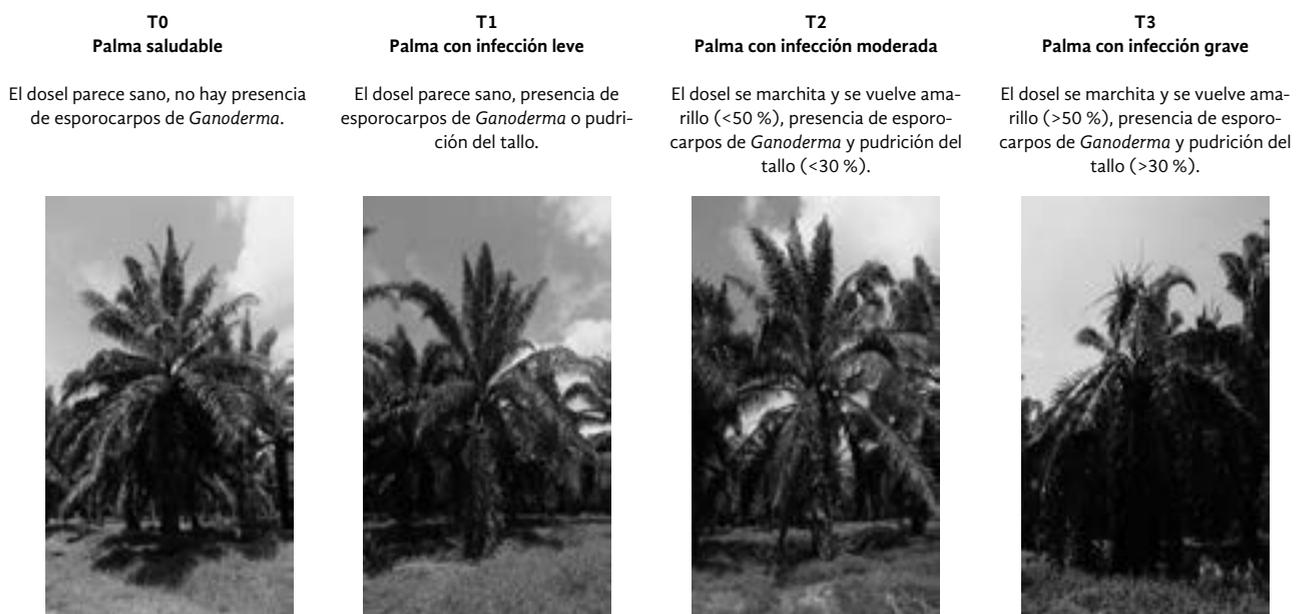
Índice de gravedad de la enfermedad

Con el paso del tiempo se han desarrollado varios DSI para emparejar la detección de *Ganoderma* con los datos de teledetección. La Tabla 2 y la Figura 1 muestran un ejemplo del índice de gravedad de la enfermedad desarrollado para el mapeo VANT en 2013.

Tabla 2. Índice de gravedad de la enfermedad (DSI) de la Pudrición basal del estípite en palma de aceite.

Índice de gravedad de la enfermedad	Descripción	Evaluación visual
T0	Palma de aceite no infectada, en ningún tejido hay hongos de <i>Ganoderma</i> y GSM negativo	Hojas y planta sanas, sin síntomas foliares y ausencia de micelio blanco o esporocarpio (<i>Ganoderma</i>) en la base del tallo
T1	Tallo con infección leve	Hojas y planta sanas, sin síntomas foliares, pequeños botones blancos, cuerpo foliar y tallo en descomposición
T3	Palma infectada con el hongo <i>Ganoderma</i> , con síntomas foliares y micelio blanco o esporocarpio en la base del tallo, GSM positivo	Hojas amarillentas o secas. Tres hojas o más se observan como lanzas, sin abrir. Declinación de las hojas más antiguas. Presencia de pequeño botón blanco o esporocarpio (<i>Ganoderma</i>) en la base del tallo

Figura 1. Las cuatro clases de DIS que infectaron las palmas de aceite.



Recolección de datos espectrales

Las mediciones recolectadas en este capítulo están directamente relacionadas con el espectro de las palmas en el píxel de la imagen AISA utilizada en análisis posteriores. Se usó un espectrorradiómetro GER 1500 (Spectra Vista Corporation, EE. UU.) para medir la reflectancia foliar de la palma de aceite de la muestra. Este es un espectrorradiómetro de campo de un solo haz y de alto rendimiento, que mide en la longitud de onda del rango visible y del infrarrojo cercano, y permite el escaneo de espectros individuales en milisegundos. Registra 512 canales que se muestran en la longitud de onda de entre 350 – 1.050 nm (visible a infrarrojo cercano) con una resolución espectral de 3,2 nm y un ancho de banda de 1,5 nm. Las mediciones fueron calibradas con un panel estándar blanco de sulfato de bario (BaSO₄), para normalizar las mediciones objetivo y tener en cuenta los cambios en el ángulo del sol y las condiciones atmosféricas.

Imágenes hiperespectrales aéreas

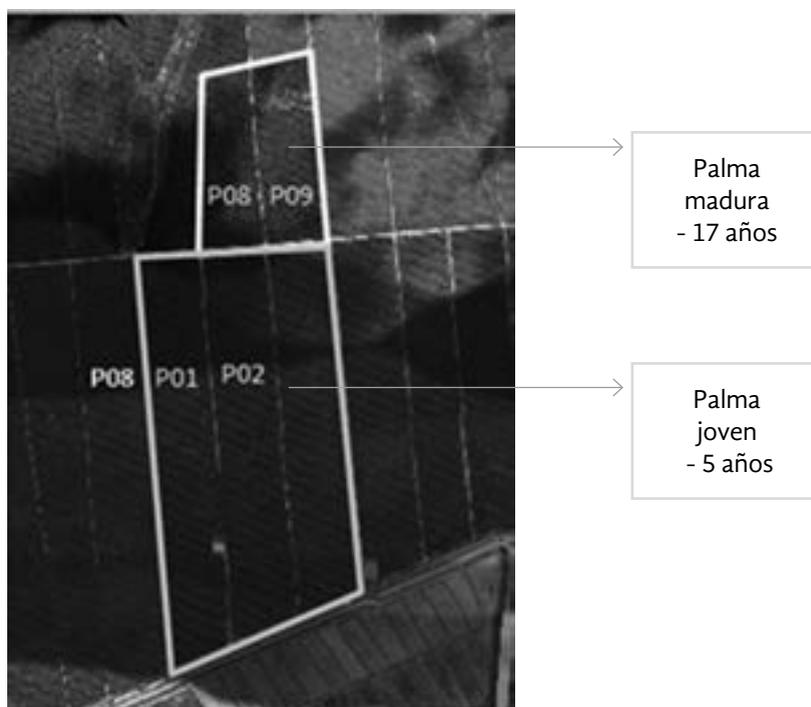
La recolección de datos aéreos se logró el 20 de octubre de 2008. La del suelo se hizo después y dentro de las dos semanas siguientes a la campaña hiperes-

pectral aérea AISA (21-31 de octubre de 2008) (Figura 2). Posteriormente, se determinaron las propiedades patológicas y fisiológicas de cada palma en la muestra. El hiperespectral AISA DUAL consiste en 244 bandas desde 400 nm a 2.500 nm en intervalos de 5 nm, con una resolución de 0,68m en la región del VNIR. La imagen se procesó utilizando ENVI 4.3 y Caligeo propietario. El sensor fue desarrollado y fabricado por SPECIM (Spectral Imaging Limited), Finlandia. Los hiperespectrales AISA (espectrómetro de imágenes aéreas para aplicaciones) son sistemas completos de imágenes de barrido con dos sensores hiperespectrales: el AISA Eagle II y el AISA Hawk II. Consiste en una compacta cabeza del sensor hiperespectral, la unidad de adquisición de datos (PC robusta), una unidad GPS/INS, y un sensor de irradiancia descendente (FODIS).

El sistema de imágenes hiperespectrales con vehículo aéreo no tripulado

El área fue seleccionada con base en la disponibilidad de información censal sobre la incidencia de PBE en la plantación objeto de estudio. El estudio utilizó una Swinglet CAM (Figura 3), que es un vehículo aéreo

Figura 2. Plantación de palma de aceite en Seberang Perak, Malasia (4° 6' N 100° 53' E). Datos adquiridos el 28 de octubre de 2010.



no tripulado (VANT) de ala fija, fabricado por Sensefly, una compañía de Parrot, Suiza. Las imágenes del VANT fueron adquiridas en junio de 2014, sobre una porción de toda la plantación, en donde se reportó incidencia de PBE. La edad de la palma de aceite era de ocho años y estaba en un área de plantación de segunda generación. Las imágenes RGB y NIR se capturaron utilizando un sistema VANT con Swinglet CAM (Figura 3). Dos cámaras de 16 megapíxeles para el VANT, la cámara RGB y la cámara NIR. La RGB cubría el ancho de banda visible 450-750nm y la NIR, de 760-860 nm. La altitud de vuelo del VANT durante la adquisición de imágenes fue de 150 metros aproximadamente, y la resolución de píxeles de la imagen de 10 cm. Las imágenes se tomaron con buen clima y cielo despejado, con una velocidad del viento por

debajo de los 25 km/h. El vuelo fue controlado utilizando una estación inalámbrica en tierra, integrada con *software* eMotion. El VANT llevaba una cámara, un GPS y una unidad de medición inercial (IMU, por su sigla en inglés) que rastrea su posición y permite el funcionamiento del sistema de vuelo autónomo.

Después de la georectificación y de juntar los mosaicos de las imágenes georectificadas se generaron datos DTM. Luego, estos fueron utilizados como insumo para georectificar los mosaicos de las imágenes en una ortofotografía de escena completa de imagen RGB y NIR. Las imágenes resultantes fueron divididas en subconjuntos de 25 hectáreas (0,25 km²) (el cuadro amarillo) como se muestra en la Figura 4 (a) y (b), respectivamente.



Figura 3. Swinglet con cámara compacta modificada.

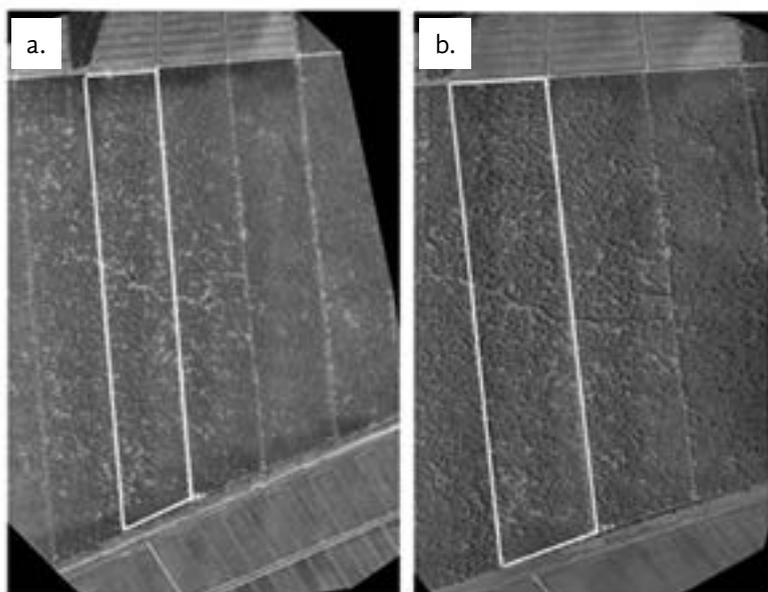


Figura 4. Imagen multispectral basada en VANT de una plantación de palma de aceite. El cuadro amarillo indica el área de estudio. (a) Imagen de mosaico de ortofotografía digital RGB. (b) Imagen de mosaico de ortofotografía digital del NIR.

Análisis de datos

Análisis espectral

Se empleó el análisis espectral para los datos espectrales adquiridos de GER1500, así como en los píxeles espectrales de las imágenes hiperespectrales AISA. Se probaron varias técnicas de análisis espectral, principalmente el derivativo, posición de RedEdge, relaciones de banda, continuo eliminado, entre otras. Las Figuras 5 y 6 muestran las regiones del continuo eliminado y el espectro del continuo eliminado a una característica de absorción de 470 nm.

Procesamiento de imágenes

El procesamiento de todas las imágenes incluye algunos pasos esenciales. El preprocesamiento de los datos hiperespectrales aéreos es crucial antes de realizar

un análisis posterior de la imagen. Esta debe corregirse atmosférica y geoméricamente utilizando los metadatos preestablecidos del archivo de cabecera. Lo datos eran enormes y tardaron mucho tiempo en ser procesados.

Técnica estadística comparativa

Se usa un análisis estadístico comparativo para determinar si existe una diferencia significativa entre dos grupos o varios grupos de conjuntos de datos. En este estudio se utilizó la prueba t para determinar si existe una diferencia entre DSI. Esta compara dos medias indicadas dentro de un rango de certeza determinado para observar si las dos medias son distintas, o si la diferencia puede haber ocurrido por casualidad (Harmon, 2011). Se realizó un análisis estadístico comparativo sobre el número digital (DN, por su sigla en inglés) del dosel de la palma de aceite,

Figura 5. Reflectancia y regiones del continuo eliminado.

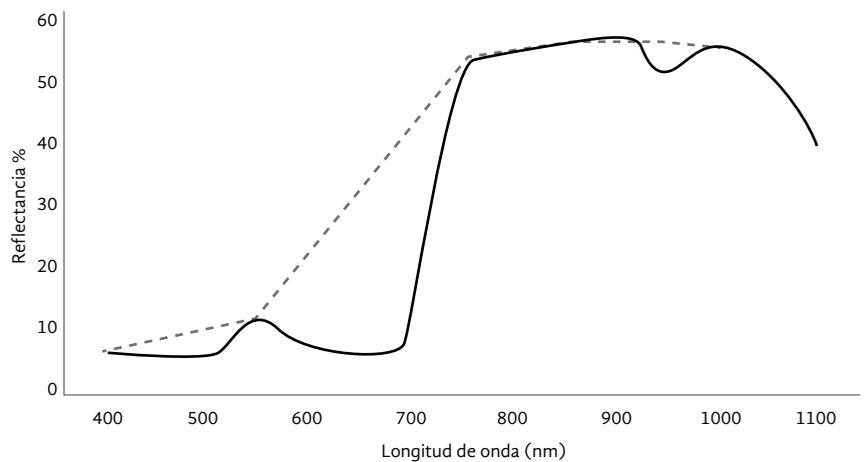
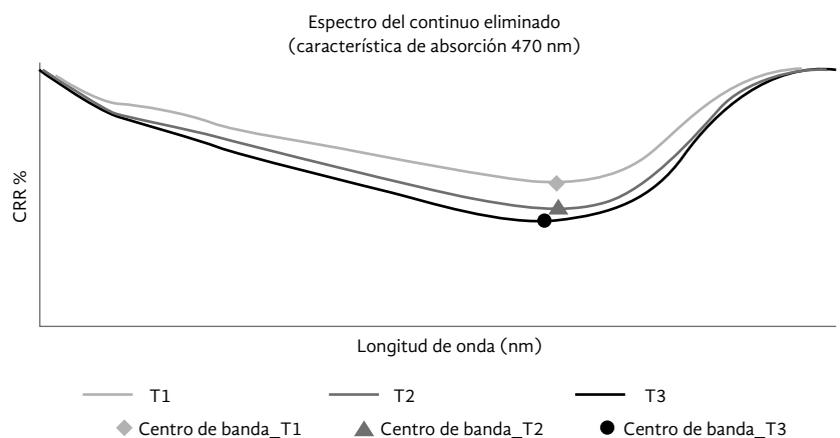


Figura 6. Reflectancia del continuo eliminado (CRR, por su sigla en inglés) o efecto de PBE por *Ganoderma* y control (T1)



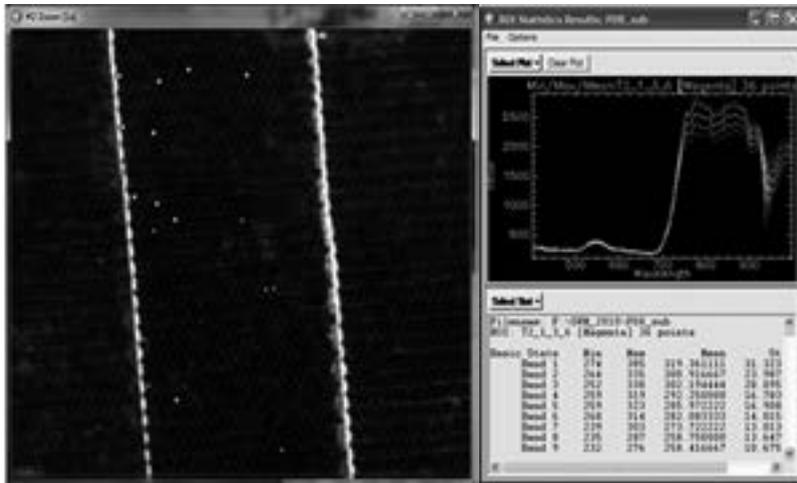


Figura 7. Estadísticas del espectro de la copa seleccionada de la imagen hiperespectral AISA Eagle. (a) Región de interés en la copa de la palma de aceite seleccionada, representante de T1 en verde, T2 en cian y T3 en magenta. (b) Estadísticas de la ROI con base en las plantas seleccionadas.

extraído de cada DSI. El DN se retiró usando una herramienta de región de interés (ROI) proporcionada por el *software* ENVI 4.8. Todas las imágenes raw de AISA hiperespectrales, las multiespectrales en VANT y las Kompsat 3A, fueron georreferenciadas al sistema de coordenadas universal transversal de Mercator (UTM, por su sigla en inglés) del World Geodetic System 1984 (WGS-84), con base en un conjunto de puntos de control en tierra dentro del campo de interés, ubicados con un sistema de posicionamiento global diferenciado (DGPS, por su sigla en inglés). La Figura 7 presenta muestras censuradas de palma en la imagen hiperespectral AISA, el píxel puro es extraído de la copa con base en el DSI.

Resultados

Todos los estudios para la detección de *Ganoderma* utilizando teledetección, entre 2007 y 2018, han mostrado un gran progreso en el entendimiento de la relación entre la enfermedad y la reflectancia detectada por el sensor, desde varios aspectos y escalas. La investigación ha sido documentada en diversos artículos de revistas, así como en patentes del método. El estudio fue multidimensional, incorporando diferentes etapas de la enfermedad y del crecimiento de la palma, e instrumentos con diferentes resoluciones espaciales y espectrales, así como un rango de distintos análisis espectrales. Las mediciones de campo fueron diseñadas para permitir un entendimiento fundamental de las propiedades espectrales de la palma de aceite, con

y sin enfermedad. Por otra parte, las mediciones aéreas se utilizaron para probar la viabilidad de la teledetección hiperespectral desde un punto de vista operativo.

En general, se puede concluir que las longitudes de onda en las bandas verde, roja y del infrarrojo cercano, tienen la capacidad de diferenciar entre palmas de aceite sanas e infectadas. Nuestro estudio también sugirió que podría desarrollarse un DSI específico, con una mayor variación de síntomas foliares de sano a enfermo para el censo en terreno, con el fin de obtener resultados estándar que sean comparables entre sensores. En vista de esto, se estableció un estudio integral que consiste en la recolección de datos espectrales, mapeo multiespectral VANT y satelital, mapeo hiperespectral aéreo y RADAR, para establecer resultados que sean comparables entre sensores.

Conclusión

Las tecnologías convencionales de detección de la PBE en la palma de aceite son costosas y toman mucho tiempo. Este negocio agrícola está experimentando una expansión en términos de cobertura terrestre, así como en la optimización de las plantaciones existentes. En general, se ha establecido el manejo y control de la enfermedad por *Ganoderma* en la plantación.

Los datos de teledetección para la clasificación y mapeo de la PBE proporcionan información de-

tallada y completa de forma eficaz en el tiempo. La disponibilidad de imágenes RGB Y NIR de alta resolución espacial y basadas en VANT, ofrece un mejor potencial para la clasificación y mapeo de la PBE en las plantaciones de palma de aceite. Sin embargo, debido al número limitado de bandas, se encuentra que los resultados de los análisis son bastante moderados para considerarlos como una única herramienta para la detección aérea de enfermedades, a pesar de su bajo costo operativo.

El estudio de la detección de la enfermedad por *Ganoderma* en la palma de aceite está madurando en Malasia. Se han recopilado las características importantes y la información espectral y de las bandas. Se han utilizado varios tipos de sensores ópticos, incluyendo multiespectrales, hiperespec-

trales y de microondas para evaluar su capacidad de detectar la enfermedad.

No obstante, una transformación digital integral hacia el mapeo y detección automática todavía está en sus primeros días. Tal y como se discutió anteriormente, tener un sistema de agricultura de precisión cuesta una fortuna. Sin embargo, en el futuro cercano, con la disponibilidad de sensores y equipos a un costo reducido, toda la investigación fundamental en *Ganoderma* para la palma de aceite puede ser utilizada dentro de un sistema de agricultura de precisión, materializándolo. Se requieren trabajos futuros para desarrollar una técnica de detección temprana para la PBE en la palma de aceite, usando imágenes hiperespectrales de VANT.

Referencias

- Ariffin, D., Idris, A. S., & Khairuddin, H. (1993). Confirmation of *Ganoderma* infected palm by drilling technique. *Proc. of the 1993 PORIM International Palm Oil Congress: Update and Vision (Agriculture)*, 735-738.
- Delalieux, S., Van Aardt, J., Keulemans, W., & Coppin, P. (2005). Detection of Biotic Stress (*Venturia Inaequalis*) in Apple Trees Using Hyperspectral Analysis. Paper presented at the *Proceedings of 4th EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*.
- Delalieux, S., Van Aardt, J., Keulemans, W., Schrevens, E., & Coppin, P. (2007). Detection of Biotic Stress (*Venturia inaequalis*) in Apple Trees Using Hyperspectral Data: Non-Parametric Statistical Approaches and Physiological Implications. *European Journal of Agronomy*, 27, 130-143.
- Ezzati, B. (2018). *UAV-Based RGB/NIR Aerial Imaging for the Detection of Ganoderma Disease in Oil Palm Plantation*. MPhil thesis. University of Malaya, Kuala Lumpur.
- Harmon, M. (2011). *T-Tests in Excel - The Excel Statistical Master*. Excel Master Series.
- Hill, R. J., Wilson, B. A., Rookes, J. E., & Cahill, D. M. (2009). Use of high resolution digital multi-spectral imagery to assess the distribution of disease caused by *Phytophthora cinnamomi* on heathland at Anglesea, Victoria. *Australasian Plant Pathology*, 38, 110-119.
- Hunt, E. R., Hively, W. D., Fujikawa, S. J., Linden, D. S., Daughtry, C. S. T., & McCarty, G. W. (2010). Acquisition of NIR-Green-Blue Digital Photographs from Unmanned Aircraft for Crop Monitoring. *Remote Sensing*, 2, 290-305.
- Idris, A. S., & Rafidah, R. (2008). Enzyme linked immunosorbent assay-polyclonal antibody (ELISA-PAb). *MPOB Information Series*, 430, 4.
- Idris, A. S., Mazliham, M. S., Loonis, P., & Wahid, M. B. (2010a). GanoSken for early detection of *Ganoderma*. *MPOB Information Series*, 499, 4.

- Idris, A. S., Rajinder, S., Madihah, A. Z., & Wahid, M. B. (2010b). Multiplex PCR-DNA kit for early detection and identification of *Ganoderma* species in oil palm. *MPOB Information Series*, 531, 4.
- Idris, A. S. (2011). Biology, detection and control of *Ganoderma* in oil palm. Further Advances in Oil Palm Research (2000-2010). In: Basri, M. W., Choo, Y. M., Chan, K. W. (Ed.). *MPOB, Bangi*, 1, 845.
- Idris, A. S., & Roslan, A. (2012). Economic impact of *Ganoderma* incidence on Malaysian oil palm plantation – a case study in Johor. *Oil Palm Industry Economic Journal*, 12, 24-30.
- Izzuddin, M. A. (2010). *Early Detection of Ganoderma Disease in Oil Palm (Elaeis guineensis Jacq.) using Field Spectroscopy*. M.Sc. thesis, Universiti Putra Malaysia, Serdang.
- Izzuddin, M. A., Idris, A. S., Wahid, O., Nisfariza, M. N., & Shafri, H. Z. M. (2013). Field Spectroscopy for Detection of *Ganoderma* Disease in Oil Palm. *MPOB Information Series* 532, 4.
- Izzuddin, M. A., Idris, A. S., Nisfariza, M. N., Shafri, H. Z. M., & Ezzati, B. (2017). The development of spectral indices for early detection of *Ganoderma* disease in oil palm seedlings. *International Journal of Remote Sensing* (In Press).
- Madihah, A.Z., Idris, A. S., & Rafidah, A. R. (2014). Polyclonal antibodies of *Ganoderma boninense* isolated from Malaysian oil palm for detection of basal stem rot disease. *African Journal of Biotechnology*, 13, 3455-3463.
- Nisfariza, M. N. (2012). *Early Detection of Ganoderma Basal Stem Rot Disease of Oil Palm by Hyperspectral Remote Sensing*. Ph. D. thesis, University of Nottingham, United Kingdom.
- Shafri, H. Z. M., & Hamdan, N. (2009). Hyperspectral imagery for mapping disease infection in oil palm plantation using vegetation indices and red edge techniques. *American Journal of Applied Sciences*, 6, 1031-1035.
- Turner, P. D., & Gillbanks, R. A. (2003). *Oil Palm Cultivation and Management*. The Incorporated Society of Planters.
- Yang, W., Sun, C., & Zhang, L. (2011). A multi-manifold discriminant analysis method for image feature extraction. *Pattern Recognition*, 44, 1649-1657.