

El uso de sensores remotos para detectar la infección por *Ganoderma**

Use of Remote Sensors to Detect *Ganoderma* Infection

AUTORES: Nisfariza Mohd Noor¹ (Principal). Anuar Mohamad Izzuddin², Abu Seman Idris² and Bahrom Ezzati¹ (Coautores).

CITACIÓN: Mohd, N., Mohamad, A., Seman, A., & Bahrom, E. (2016). El uso de sensores remotos para detectar la infección por *Ganoderma*. *Palmas* 37(Especial Tomo I), pp. 140-150.

PALABRAS CLAVE: *Ganoderma*, infrarrojo cercano, Pudrición basal del estípite, RGB, vehículo aéreo no tripulado.

KEYWORDS: *Ganoderma*, Near Infrared, basal rot, RGB, unmanned aerial vehicle.

*Artículo original recibido en inglés y traducido por Sofía Lemaitre Cepeda.

1 Department of Geography, Faculty of Arts and Social Sciences, Universiti of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia. E-mail: nish@um.edu.my

2 *Ganoderma* and Diseases Research for Oil Palm (GanoDROP) Unit, Biological Research Division, Malaysian Palm Oil Board, 43000, Kajang, Selangor, Malaysia. E-mail: idris@mpob.gov.my



NISFARIZA MOHD NOOR

Profesora titular, Departamento de Geografía, Facultad de Artes y Ciencias Sociales, Universidad de Malaya
Senior Lecturer, Department of Geography, Faculty of Arts and Social Sciences, University of Malaya
nish@um.edu.my

Resumen

El estudio del uso de la teledetección para la enfermedad de la Pudrición basal del estípite (PBE) de la palma de aceite por parte de la Mesa de Aceite de Palma de Malasia (Malaysian Palm Oil Board) inició en 2008. Se efectuaron diversos estudios para analizar las propiedades fisiológicas y fenológicas de la palma de aceite y la interacción entre las radiaciones electromagnéticas y la enfermedad de la PBE por *Ganoderma*. Existe la necesidad de desarrollar tecnologías de detección de la PBE basada en teledetección aérea para una implementación más rápida del control de la enfermedad de PBE por *Ganoderma*. El estudio inicial se realizó para investigar la posibilidad de utilizar la teledetección hiperspectral como herramienta para la detección temprana de esta enfermedad; se llevó a cabo en tres niveles experi-

mentales: en el vivero, en el campo y en el aire, utilizando dos sensores hiperespectrales: el espectrorradiómetro manual (GER 1500) y el sistema de imágenes hiperespectrales (AISA Eagle).

Los experimentos en el vivero se establecieron para adquirir una perspectiva acerca de la respuesta hiperespectral de la palma de aceite a la Pudrición basal del estípite (PBE) por *Ganoderma* y se emplearon como punto de comparación para el análisis. Este fue un estudio multidimensional que incorporó las distintas etapas de la enfermedad, las etapas del crecimiento de la palma, instrumentos con varias resoluciones espaciales y espectrales, y una gama de análisis espectrales. Las mediciones en campo se diseñaron para entender las propiedades de la palma de aceite, con y sin la enfermedad. Por otra parte, las medidas de transmisión por el aire se utilizaron para poner a prueba la viabilidad de la teledetección hiperespectral desde una perspectiva operacional. Se trata de una investigación con diversos enfoques en escala, que incluye la escala de unidades de muestreo (en las hojas y por transmisión aérea), la escala del fenómeno (la etapa de infección de la enfermedad PBT) y la escala del análisis para describir la detección temprana de la PBE por *Ganoderma* en la palma de aceite.

Aunque concluimos que la teledetección hiperespectral es una opción no destructiva para la detección temprana de la enfermedad de PBE por *Ganoderma*, los métodos deben desarrollarse en forma precisa y confiable para determinar las palmas infectadas asintomáticas antes de implementar las opciones de tratamiento de la enfermedad con una máxima efectividad. Hemos avanzado en utilizar el sistema UAV RGB-NIR de última tecnología para la detección de la PBE por *Ganoderma* con integración del SIG y modelos basados en el censo de la enfermedad para lograr una vista aérea y determinar su propagación en las plantaciones de palma de aceite.

Abstract

The study of the use of remote sensing in *Ganoderma* Basal Stem Rot (BSR) disease of oil palm in Malaysian Palm Oil Board was initiated in 2008. A number of different experiments were carried out to understand the base line information about the oil palm physiological and phenological properties and target interaction between the electromagnetic radiations with the *Ganoderma* BSR disease. There is a requirement for the development of airborne remote sensing based BSR disease detection technology for faster *Ganoderma* BSR disease control implementation. The initial study was done to investigate the possibility of using hyperspectral remote sensing as a tool in early detection of *Ganoderma* BSR; it was conducted at three experimental levels: the nursery, the field and airborne, using two hyperspectral sensors – the handheld spectroradiometer (GER 1500) and hyperspectral imaging (AISA Eagle) system.

The nursery experiments were established to gain a fundamental perspective on oil palm hyperspectral response to *Ganoderma* Basal Stem Rot (BSR) disease and were used as a benchmark for the analysis. The study was multi-dimensional, incorporating different stages of the disease, different stages of palm growth and instruments with different spatial and spectral resolutions as well as a range of different spectral analyses. The field measurements were designed to enable a fundamental understanding of the oil palm spectral properties, with and without the disease. The airborne measurements, on the other hand, were used to test the feasibility of hyperspectral remote sensing from an operational point of view. The research with several scaling approaches including the scale of sampling units (leaf and airborne), the scale of the phenomenon (the stage of BSR disease infection) and the scale of the analysis in describing the early detection of *Ganoderma* BSR in oil palm.

Although we concluded that hyperspectral remote sensing analysis is an option non-destructive early detection of *Ganoderma* BSR disease. The methods need to be accurately and reliably developed to determine infected asymptomatic trees before implementing the disease-management options with maximum effectiveness. We have moved forward to use the cutting-edge UAV RGB-NIR system to detect *Ganoderma* BSR disease with the GIS integration and modelling based on disease census to obtain the aerial view and spread of the *Ganoderma* BSR disease in oil palm plantation.

Introducción

La Pudrición basal del estípite (PBE) de la palma de aceite es causada por un hongo transmitido por el suelo denominado *Ganoderma* spp. Esta enfermedad genera una pérdida sustancial a la industria de la palma de aceite en Malasia e Indonesia (Idris y Roslan, 2012). La especie más agresiva de *Ganoderma* que causa la PBE es *Ganoderma boninense* (Idris, 2011). La propagación de esta enfermedad es inducida por contacto entre las raíces sanas y las lesionadas y los tejidos enfermos abundantes en el suelo. El hongo *Ganoderma* crece a lo largo de la raíz infectada y finalmente llega al estípite de la palma. La renovación sucesiva de las generaciones siguientes de palma de aceite en el mismo suelo da lugar a una mayor incidencia de la enfermedad. Los síntomas de la enfermedad se presentan aún más temprano que en las generaciones anteriores (Idris, 2012).

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 para la detección de la PBE en lotes de palma de aceite, a saber, el medio selectivo para *Ganoderma* (GSM, por sus siglas en inglés) (Ariffin *et al.*, 1993), los anticuerpos policlonales - ensayo de inmunoadsorción ligado a enzimas (PABs-ELISA) (Madihah *et al.*, 2014, Idris y Rafidah, 2008), el kit Multiplex PCR-DNA (Idris *et al.*, 2010a), y la tomografía GanoSken (Idris *et al.*, 2010b). Estas tecnologías requieren mucho tiempo y una investigación individual y exhaustiva de los lotes de palma de aceite. Es necesario desarrollar una tecnología aerotransportada para la detección de la PBE a fin de obtener resultados y trabajos de gestión de control rápidos, así como ahorrar costos.

Los datos obtenidos mediante teledetección hiperspectral aerotransportada ofrecen un mejor enfoque para la detección del estrés en las palmas de aceite en una superficie extensa sembrada (Shafri y Hamdan, 2009). Las imágenes hiperespectrales aerotransportadas utilizan la espectrometría de imágenes montada en una plataforma aerotransportada que adquiere las imágenes en muchas bandas espectrales estrechas y contiguas a lo largo de las porciones visibles, del infrarrojo cercano, del infrarrojo mediano y del infrarrojo térmico del espectro (Nisfariza, 2012, Yang *et al.*, 2011, Izzuddin, 2010, Lillesand *et al.*, 2004).

Las aplicaciones de los vehículos aéreos no tripulados (VANT) equipados con generadores de imágenes en los estudios agrícolas están cobrando cada vez mayor importancia en la literatura. García-Ruíz *et al.*, (2013) presentaron la capacidad de teledetección de baja altitud de VANT multirrotadores para detectar el Huanglongbing (HLB): enfermedad de envejecimiento de los cítricos que afecta los huertos. Se adaptó un sensor de imágenes multibanda a un VANT compatible con la altitud de vuelo. El análisis demostró que la detección aérea de alta resolución presenta el mejor resultado en la detección de los árboles infectados con HLB en comparación con el sistema de imágenes similar a partir de sensores en aeronaves con menor resolución espacial.

En el estudio de Calderón *et al.*, (2013) se demuestra el potencial de los VANT para la detección temprana de la infección de marchitez por *Vermicillium* en olivos mediante imágenes térmicas, multiespectrales e hiperespectrales. Se accede a la detección de esta enfermedad mediante la temperatura de la copa del árbol, los índices estructurales, los índices RGB, la fluorescencia y el índice de salud, y proporciona un buen indicador para detectar la presencia de daños en los cultivos de olivo.

Hill *et al.*, (2009) demostraron que el fitopatógeno del suelo *Phytophthora cinnamomi* ocasiona cambios estructurales y florísticos a largo plazo en las comunidades vegetales nativas australianas. El principal conocimiento en el manejo de la enfermedad es saber dónde ocurre y su tasa de propagación. Los puntos de localización de *P. cinnamomi* se han cartografiado pero es difícil y costoso mapear el alcance de la enfermedad. Las imágenes digitales multiespectrales se probaron para cuantificar la infestación sobre extensas áreas, lo que proporciona una herramienta no invasiva y de bajo costo para su manejo.

Materiales y métodos

Área de estudio

El área de estudio está localizada en una plantación de palma de aceite ubicada en Seberang Perak, Mala-

sia (4° 6' 42" N, 100° 53' 12" E), con una precipitación anual de 2.256 mm por año y una temperatura entre 24 y 34 °C (Figura 1). El área se seleccionó debido a la disponibilidad del censo sobre el terreno de la incidencia de la PBE realizado en los años 2013 y 2014. Las imágenes provenientes del VANT se adquirieron en junio de 2014 sobre una porción de toda la plantación en donde se reportó la ocurrencia de la enfermedad. La edad de las palmas de aceite es de ocho años después de la siembra y es el área sembrada de segunda generación.

Censo sobre el terreno

El censo sobre el terreno se llevó a cabo para registrar la ubicación y el número de lotes de palma de aceite sanos e infectados en el área de estudio. Las palmas infectadas se clasificaron en cuatro categorías de Índice de Severidad de Enfermedad (ISE) de la PBE en palma de aceite (Idris y Rosmidi, 2014). En la Tabla 1 se muestra el ISE. Para la confirmación de la infección PBE en cada uno de los lotes de palma de aceite se utilizó el medio selectivo para *Ganoderma* (GSM). Esta técnica utiliza

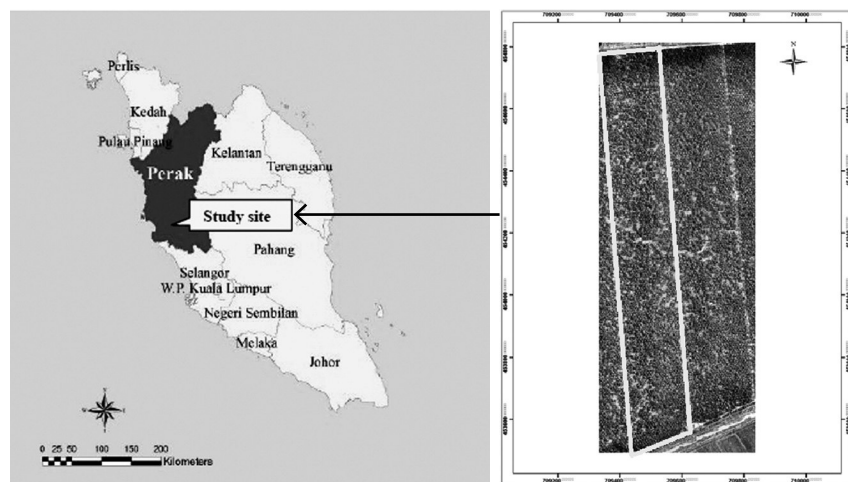


Figura 1. Sitio de estudio de la plantación de palma de aceite, Seberang Perak, Malasia.

Tabla 1. Índice de Severidad de Enfermedad (ISE) de la Pudrición basal del estípote (PBE) en palma de aceite.

Nivel de severidad de la enfermedad	Descripción	Evaluaciones visuales
T0	Palma no infectada, no hay hongos <i>Ganoderma</i> en los tejidos y GSM negativo.	Hojas y palma sana, sin síntomas foliares y ausencia de micelio blanco o cuerpo fructífero (<i>Ganoderma</i>) en la base del estípote.
T1	Estípote con infección leve.	Hojas y palma sana, sin síntomas foliares, pequeño botón blanco, descomposición en cuerpo foliar y el estípote.
T2	Palma infectada con hongos <i>Ganoderma</i> sin síntomas foliares pero con pequeño botón blanco o cuerpo fructífero en la base del estípote, GSM positivo.	Hojas y palma de aspecto sano, sin síntomas foliares pero con presencia de pequeño botón blanco o cuerpo fructífero (<i>Ganoderma</i>) en la base del estípote.
T3	Palma infectada con hongos <i>Ganoderma</i> con síntomas foliares y micelio blanco o cuerpo fructífero en la base del estípote, y GSM positivo.	Amarillamiento o secamiento de algunas hojas. Tres o más permanecen como flechas sin abrir. Decaimiento de las hojas más viejas. Presencia de pequeño botón blanco o cuerpo fructífero (<i>Ganoderma</i>) en la base del estípote.

muestras de tejido del estípite o la raíz de la palma de aceite para confirmar la existencia del patógeno *Ganoderma*. Las muestras se recogieron mediante la técnica de perforación.

El sistema de vehículo aéreo no tripulado (VANT)

Las imágenes RGB y NIR se obtuvieron mediante el sistema VANT Swinglet CAM (Figura 2) (Sensefly, 2015). El sistema VANT captura imágenes digitales en el espectro RGB y NIR.

El peso del VANT es de aproximadamente 0,5 kg, la envergadura es de 80 cm y el material es de espuma de polipropileno expandido (EPP), estructura de carbono y partes compuestas. El sistema de propulsión utiliza una hélice propulsora eléctrica, motor sin escobillas de corriente directa y 100 W. El VANT funciona con una batería de 11,1 V, 1.350 mAh.

El VANT también está equipado con una Unidad de Medición Inercial (UMI) y un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para la navegación y los trabajos de planificación de vuelos. Hay dos cámaras de 16 megapíxeles para el VANT: la cámara RGB y la NIR. La cámara RGB cubre la banda ancha en el visible (450-750 nm) y la NIR cubre 760-860 nm. La altitud de vuelo del VANT durante la adquisición de imágenes es de unos 150 metros y la resolución de píxeles para la imagen es de 10 cm.

La adquisición de las imágenes se realizó con cielo despejado y buen tiempo, con velocidad del viento de 25 km/h. Hay tres juegos de baterías que se utilizan para el VANT, adecuadas para una hora y media de vuelo. El vuelo se controló mediante una estación inalámbrica terrestre integrada con el *software* eMotion.

Procesamiento de imágenes

Las imágenes RGB y NIR adquiridas sobre el área de estudio se descargaron del sistema VANT al disco duro de un computador después de la campaña de vuelo. Posteriormente se utilizó el *software* Postflight Terra LT para comprobar la superposición de las imágenes y se generó un ortomosaico de baja resolución mientras aún estaba en campo. Luego, las imágenes fueron geocorregidas y a continuación ortorrectificadas en ortofotos. Después, estas fueron unidas en mosaicos. Los procedimientos para la generación de mosaicos de ortofotos se efectuaron con base en Terrasolid Oy (2014).

Técnica estadística comparativa

El análisis estadístico comparativo se utiliza para determinar si existe una diferencia significativa entre dos grupos de conjuntos de datos o varios grupos de conjuntos de datos (Johnson, 1989). En este estudio se utilizó la prueba t para determinar si había diferencias entre los ISE. Una prueba t hace la compara-

Figura 2. Sistema VANT Swinglet CAM.



ción entre dos medias que indica, en un grado específico de certeza, si las dos medias son diferentes o si la diferencia podría haber ocurrido por casualidad. Por consiguiente, una prueba *t* puede indicar si la diferencia entre los números del antes y el después es genuina o si pudo haber sido resultado de la casualidad (Harmon, 2011).

En este estudio se empleó la prueba *t* para comparar dos medias muestrales. Las diferencias entre la prueba *t* para comparar medias muestrales son la ecuación que se utiliza para calcular el estadístico *t* y los grados de libertad para elegir el valor tabulado de *t*. Se necesitaron dos medias muestrales separadas, desviaciones estándar y tamaños de muestras. Además, el número de grados de libertad (gdl) se calculó al número entero más cercano. El análisis de la prueba *t* fue adoptado por Siddiqui *et al.* (2014) en el estudio de las características visibles de plantas o análisis de rasgos mediante sistemas de imágenes termográficas infrarrojas; Cho *et al.* (2008) en la discriminación de tres arbustos y tres especies a partir de índices hiperespectrales y Peijie *et al.* (2011) para la discriminación de células enfermas en humanos.

Los estudios anteriores sugieren que la prueba *t* es adecuada para analizar la diferencia entre T0, T1, T2 y T3 a partir de las imágenes procedentes de VANT. En este estudio el valor de *p* se fijó en $p < 0,05$ para rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas entre los ISE. Este nivel de diferencia significativa se ha utilizado en muchos estudios relacionados.

Resultados

Mosaicos de ortofotos a partir de las imágenes obtenidas con VANT

Las imágenes descargadas del VANT fueron preprocesadas con el *software* Terrasolid, corregidas

en proyección planimétrica con asimetría reducida y convertidas en ortofotos. Luego, las ortofotos fueron unidas en mosaicos de ortofotos como se muestra en la Figura 3. El mosaico de ortofotos tiene un sistema de coordenadas de latitud y longitud con proyección de WGS 84.

La imagen consiste en lotes jóvenes de palma de aceite (8 años de edad). La resolución espacial de la imagen es de 10 cm y la cobertura total es de aproximadamente 25 hectáreas. La creación de los mosaicos de ortofotos se hizo en las imágenes RGB y NIR.

Resultados estadísticos comparativos

Se efectuó un análisis estadístico comparativo del número digital (ND) de los doseles de palma de aceite extraídos de cada ISE. Los ND se extrajeron mediante la herramienta Región de Interés (ROI, por sus siglas en inglés) proporcionada en el *software* ENVI 4.8. Las imágenes extraídas de los doseles de palma de aceite de cada ISE se muestran en la Tabla 2. Las imágenes de los doseles de palma de aceite se obtuvieron a partir de imágenes RGB y NIR.

Luego se calcularon los estadísticos descriptivos de cada ISE de la PBE; la media, la desviación estándar y el número de ND extraídos de cada pixel en las imágenes de los doseles se utilizaron como entradas para la prueba *t*. Cuatro pares de ISE se compararon mediante la prueba *t* para cada imagen RGB y NIR. La media, la desviación estándar y el número de píxeles de cada ISE son importantes para efectuar la prueba *t*. En la Tabla 3 se muestran la media, la desviación estándar y el número de píxeles de las imágenes RGB y NIR.

La Tabla 3 muestra que los valores de la media y la desviación estándar de las imágenes RGB y NIR son diferentes. La media para las imágenes RGB oscila entre 111 y 121, mientras que para las NIR los valores de la media oscilan entre 119 y 136. La desviación estándar

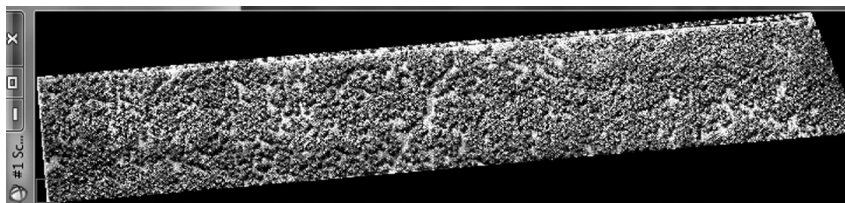
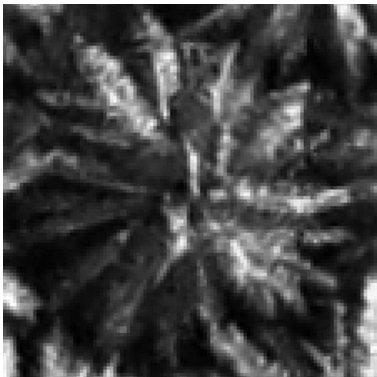
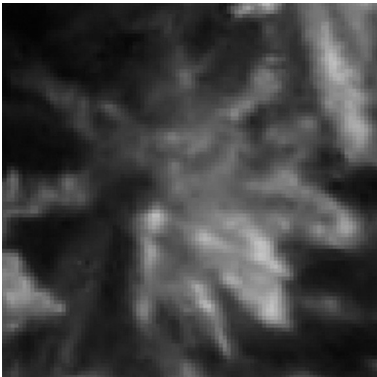
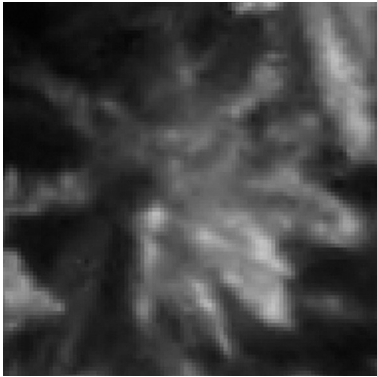
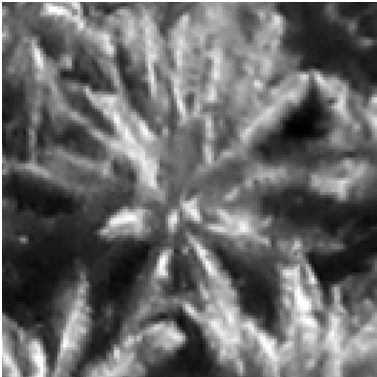
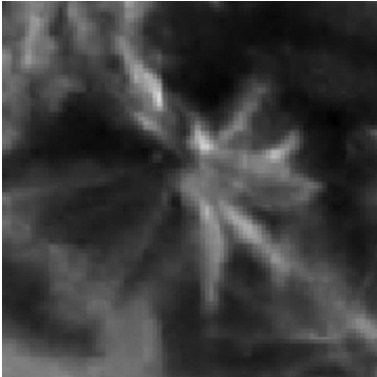


Figura 3. Mosaicos de ortofotos del área de estudio.

Tabla 2. Imágenes de los doseles de palma de aceite para cada Índice de Severidad de Enfermedad (ISE) de la PBE en palma de aceite.

Índice de Severidad de Enfermedad	Imagen RGB	Imagen NIR
T0		
T1		
T2		
T3		

es mayor para la imagen NIR, y oscila entre 51 y 49, mientras que los valores para la imagen RGB van de 24 a 26 solamente. Los resultados muestran que la variación en la imagen NIR entre los ISE es mayor en comparación con la imagen RGB de los ISE.

A continuación se efectuó una prueba t por pares de los ISE. Se probaron seis pares de ISE mediante la prueba t. El nivel significativo para la prueba se fijó en $p < 0,05$. La Tabla 4 muestra los resultados de la prueba t para las imágenes RGB y NIR.

Los resultados muestran que las imágenes RGB y NIR tenían la capacidad para diferenciar todas las severidades de la PBE. Sin embargo, estos resultados solo se probaron para el análisis a nivel de dosel sin tener en cuenta las repercusiones de los efectos de los antecedentes del suelo. Se requiere medir el efecto de los antecedentes del suelo en la precisión de la discriminación entre las categorías de la enfermedad y desarrollar un método para eliminar o reducir el efecto que pueda causar.

La Tabla 4 muestra que existe una diferencia significativa entre todos los posibles pares de categorías de severidad de la PBE. Todos los pares muestran que el valor de p se encuentra por debajo de 0,05, con excep-

ción de T0 vs. T3 para la imagen RGB, donde no hay diferencia significativa ($p = 0,1112$). Estos resultados sugieren que la comparación o la clasificación de las severidades de la PBE con base en la media, la desviación estándar y el número de píxeles no es suficiente para diferenciar entre todas las severidades de la enfermedad. Se necesitan más muestras de cada una de las categorías de la enfermedad y métodos avanzados de clasificación y discriminación de las categorías para obtener una diferencia significativa entre las categorías (Guo *et al.*, 2010, Yuan *et al.*, 2014).

Guo *et al.* (2010) determinaron las diferencias para los valores $\log_{10}$ CN entre combinaciones de cultivos y labranza mediante la prueba t con valor de p inferior a 0,0001. Ellos sugirieron que un muestreo adicional de campo de uno de los factores del modelo puede mejorar los resultados del modelo. Yuan *et al.* (2014) emplearon imágenes multiespectrales SPOT 6 de alta resolución para hacer una comparación de desempeño para la detección de la enfermedad mildeo polvoso mediante tres técnicas de clasificación supervisada: los clasificadores de red neuronal artificial (RNA), de distancia de Mahalanobis (DM) y por máxima probabilidad (*maximum likelihood*, ML). La evaluación de la precisión mostró

Tabla 3. Media, desviación estándar y número de píxeles para cada ISE (Imágenes RGB y NIR).

ISE	RGB			NIR		
	Media	Desviación estándar	Número de píxeles	Media	Desviación estándar	Número de píxeles
T0	113,0774819	25,98938063	4216	122,9477344	45,77989337	3323
T1	115,9121873	24,33257747	1600	119,9937809	48,78786523	3853
T2	120,6646053	25,81622187	3484	135,4071172	51,2081068	3107
T3	111,6237942	25,83292153	1008	131,8155431	52,486145	2566

Tabla 4. Valores de p de los resultados de la prueba t para las imágenes RGB y NIR.

Valor de p por pares						
Imagen	T0 vs. T1	T0 vs. T2	T0 vs. T3	T1 vs. T2	T1 vs. T3	T2 vs. T3
RGB	0,0002	< 0,0001	0,1112	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
NIR	0,0086	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0094

* valor de $p < 0,05$.

que la RNA tiene la mayor precisión global, de 89 %, seguida de la DM y ML, con precisiones globales de 84 y 79 %, respectivamente.

Nuestros resultados concuerdan con el trabajo efectuado por Everitt *et al.* (1999), que utilizó verde, rojo y NIR para la detección de la enfermedad de marchitez del roble en roble vivo. Utilizaron el procedimiento de la Mínima Diferencia Significativa (LSD, por sus siglas en inglés) ($p < 0,05$) para determinar la diferencia entre robles sanos, enfermos y muertos. Sus resultados mostraron que el verde, rojo y NIR presentaron una diferencia significativa entre todas las categorías.

Nuestro trabajo también comprobó los estudios anteriores de Izzuddin (2010), Nisfariza (2012), Izzuddin *et al.* (2013) e Izzuddin *et al.* (2014), en los cuales las longitudes de onda en las bandas verde, roja y del infrarrojo cercano tenían la capacidad de diferenciar entre las palmas de aceite sanas y las infectadas. Nuestro estudio también sugiere que la diferencia entre los ISE de las palmas infectadas con PBE no influye por la conversión de longitud de onda específica y significativa a un rango más amplio de banda significativa.

Conclusiones

Las tecnologías convencionales de detección de la PBE en palma de aceite son costosas y requieren mucho tiempo. Por ello, los datos obtenidos por teledetección para la clasificación y la cartografía de la enfermedad

PBE proporcionan una información amplia y detallada de manera eficaz desde el punto de vista del tiempo invertido. La disponibilidad de imágenes RGB y NIR de alta resolución espacial obtenidas con VANT ofrecen un mayor potencial para la clasificación y la cartografía de la PBE en las plantaciones de palma de aceite.

Nuestro estudio analizó las imágenes RGB y NIR con la prueba t para diferenciar la enfermedad PBE en palma de aceite con base en el ISE. Los resultados muestran que existe una diferencia significativa entre todos los ISE, con excepción de T0 vs. T3 del potencial de la imagen RGB debido al efecto de los antecedentes del suelo. Estos resultados muestran que hay un gran potencial para utilizar las imágenes RGB y NIR obtenidas con VANT para la detección de la PBE en palma de aceite. Nuestro estudio también sugiere que los métodos de clasificación avanzados pueden eliminar o reducir el efecto de los antecedentes del suelo o desarrollar máscaras de filtro que solamente extraen el dosel de la palma de aceite para su análisis.

Se requieren trabajos futuros a fin de desarrollar técnicas de detección temprana para detectar la PBE en palma de aceite mediante imágenes hiperespectrales obtenidas con VANT. Es necesario desarrollar nuevas tecnologías específicas que sean más sensibles a los primeros síntomas de la PBE. Se pueden utilizar técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes, como las Redes Neuronales Artificiales, para procesar las imágenes hiperespectrales obtenidas con VANT y generar nuevas tecnologías para completar el objetivo de la detección temprana de la PBE en palma de aceite.

Referencias bibliográficas

- Ariffin, D., Idris, A. S. and Khairuddin, H. (1993). Confirmation of *Ganoderma* infected palm by drilling technique. *Proc. of the 1993 PORIM International Palm Oil Congress: Update and Vision (Agriculture)*, pp. 735-738.
- Deilmal, R. B., Ahmad, B. B. and Zabihi, H. (2014). Comparison of two classification methods (MLC and SVM) to extract land use and land cover in Johor Malaysia, 7th IGRSM International Remote

- Sensing & GIS Conference and Exhibition, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 20 (2014) 012052.
- García-Ruiz, F., Sankaran, S., Maja, J. M., Won S. L., Rasmussen, J & Reza, E. (2013). Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. *Computers and Electronics in Agriculture*, 91, 106-115.
- Harmon, M. (2011). T-Tests in Excel – The Excel Statistical Master. *Mark Harmon*.
- Hill, R. J., Wilson, B. A., Rookes, J. E. and 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 and McCarty, G. W. (2010). Acquisition of NIR-Green-Blue Digital Photographs from Unmanned Aircraft for Crop Monitoring. *Remote Sens.*, 2: 290-305.
- Idris, A S and Rafidah, R. (2008). Enzyme linked immunosorbent assay-polyclonal antibody (ELISA-PAb). *MPOB Information Series* No. 430: 4 pp.
- Idris, A. S., Mazliham, M. S., Loonis, P. and Wahid, M. B. (2010a). GanoSken for early detection of *Ganoderma*. *MPOB Information Series* No. 499: 4 pp.
- Idris, A. S., Rajinder, S., Madihah, A. Z. and Wahid, M. B. (2010b). Multiplex PCR-DNA kit for early detection and identification of *Ganoderma* species in oil palm. *MPOB Information Series* No. 531: 4 pp.
- Idris, A. S. (2011). Biology, detection and control of *Ganoderma* in oil palm. *Further Advances in Oil Palm Research (2000 - 2010)* (Basri, M. W., Choo, Y. M. and Chan, K. W., eds.), Vol 1, MPOB, Bangi. pp. 845-521.
- 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, 219 pp.
- Izzuddin, M. A., Idris, A. S., Wahid, O., Nisfariza, M. N and Shafri, H. Z. M. (2013). *Field Spectroscopy for Detection of Ganoderma Disease in Oil Palm*. MPOB Information Series, No. 532, 4.
- Izzuddin, M. A., Nisfariza, N. M., Ezzati, B. and Idris, A. S. (2014). Detection of *Ganoderma* basal stem rot disease using vegetation indices from hyperspectral remote sensing imagery, *Journal of Oil Palm Research*, In Press.
- Johnson, D. M. (1989). *Probability and Statistics*. South – Western Publishing Co.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. and Chipman, J. W. (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons.
- Madihah, A. Z., Idris, A. S. and 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. 345 pp.
- Roslan, A. and Idris, A. S. (2012). Economic impact of *Ganoderma* incidence on Malaysian oil palm plantation – a case study in Johor. *Oil Palm Industry Economic Journal*, 12: 24-30.
- Siddiqui, Z. S., Cho, J. I., Park, S. H., Kwon, T. R., Ahn, B. O., Lee, G. S., Jeong, M. J., Kim, K. W., Lee, S., K. and Park, S. C. (2014). Phenotyping of rice in salt stress environment using high-throughput infrared imaging. *Acta Bot. Croat.*, 73: 149-158.

- Shafri, H Z M and 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.
- Viera, A. J. and Garrett, A. M. (2005). Understands inter observer agreement: the kappa statistic. *Family Medicine*, 37: 360-363.
- Yang, W., Sun, C. and Zhang, L. (2011). A multi-manifold discriminant analysis method for image feature extraction. *Pattern Recognition*, 44: 1649-1657.