

## ¿Las Fotografías aéreas permiten la detección temprana de pudrición del cogollo en palma de aceite?

*Victor O. Rincón-Romero<sup>a</sup>, Freddy Rafael Camperos-Reyes<sup>b</sup>, María Anaya Anaya M<sup>c</sup>, María Angélica Martínez Ascanio<sup>d</sup>, Greicy Andrea Sarria Villa<sup>e</sup>, Yuri Adriana Mestizo Garzón<sup>f</sup> e Jorge Luis Torres León<sup>g</sup>*

**Resumen:** Una de las enfermedades de mayor impacto en el cultivo de la palma de aceite es la Pudrición del Cogollo (PC) causada por *Phytophthora palmivora*, cuyo principal manejo se basa en la detección por medio de inspección visual de la afectación en las hojas más jóvenes, con el fin de retirar los tejidos afectados y detener el avance de la enfermedad. El método de detección demanda un alto nivel de experticia y se dificulta en la medida en que la altura de la palma aumenta la distancia entre el observador y la hoja. Se han publicado trabajos que han evaluado el uso de fotografías aéreas para detección de la enfermedad, sin embargo, dichos trabajos han logrado discriminar estados avanzados de la enfermedad en los cuales el manejo

- 
- a Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica. CENIPALMA/Colômbia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7273-9491>.
- b Mestrado em Gestão da Informação e das Tecnologias Geoespaciais. Instrutor SENA – Norte de Santander/Colômbia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3258-5256>.
- c Especialista em Gerência de Projetos. Instrutora SENA – Norte de Santander/Colômbia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4065-9291>.
- d Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. SENA – Norte de Santander/Colômbia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6269-8913>.
- e Mestrado em Ciências Agrárias. CENIPALMA/Colômbia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3198-3594>.
- f Engenharia Agrônoma. CENIPALMA/Colômbia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9139-7872>.
- g Mestrado em Ciência Geo-informacional. CENIPALMA/Colômbia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4735-1516>.

recomendado es la eliminación de la planta. Por tanto, en el presente trabajo se tuvo como objetivo determinar la capacidad de identificación de palmas con PC en estados tempranos a partir de imágenes aéreas de alta resolución espacial. Se realizó la toma de imágenes a 43 palmas enfermas y 55 palmas sanas, en plantaciones localizadas en la Zona Central palmera de Colombia, teniendo en cuenta la alta incidencia de la enfermedad en esa localización. Para la toma de imágenes se utilizó un multi-cóptero DJI Matrice 100 al cual se le adaptó una cámara multiespectral Tetracam Micro ADC. A partir de las imágenes se calcularon 8 índices de vegetación a palmas sanas y enfermas. El análisis de la variabilidad de los datos y una prueba de diferencia de medias no pareadas llevó a concluir que el uso de índices de vegetación multiespectrales obtenidos a partir de fotografías aéreas de alta resolución espacial, en las condiciones de este estudio, no permiten realizar una discriminación de palmas enfermas con PC en estados tempranos de la enfermedad.

**Palavras-chave:** Palma de aceite. Fotografías aéreas. Índices de vegetación. Teledetección. Agricultura de precisión.

## **Do aerial photographs allow early detection of bud rot in oil palm?**

**Abstract:** One of the diseases with the greatest impact on the oil palm is the bud rot (PC) caused by *Phytophthora palmivora*, whose main management is based on the detection by means of visual inspection of the affectation in the younger leaves, in order to remove the affected tissues and stop the progression of the disease. The detection method demands a high level of expertise and is difficult to the extent that the height of the palm increases the distance between the observer and the leaf. There have been published works that have evaluated the use of aerial photographs for detection of the disease, however, these works have managed to discriminate advanced stages of the disease in which

the recommended management is the elimination of the plant. Therefore, in this work we aimed to determine the capacity of identification of palms with PC in early stages from aerial images of high spatial resolution. The imaging of 43 diseased palms and 55 healthy palms was carried out in plantations located in the Central Palm Zone of Colombia, taking into account the high incidence of the disease in that location. For the taking of images, a multi-copter DJI Matrice 100 was used, to which a Tetracam Micro ADC multispectral camera was adapted. From the images 8 vegetation indexes were calculated to healthy and diseased palms. The analysis of the variability of the data and a test of difference of unpaired means led us to conclude that the use of multispectral vegetation indices obtained from aerial photographs of high spatial resolution, under the conditions of this study, do not allow us to perform a discrimination of diseased palms with PC in early stages of the disease.

**Keywords:** Oil palm. Aerial photographs. Vegetation indices. Remote sensing. Precision agriculture.

## **1 Introdução**

El surgimiento de la tecnología de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT), conocidos también como drones, Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) o Unmanned Aerial Vehicle (UAV), ha traído consigo un aumento en la búsqueda de aplicaciones de las imágenes aéreas de alta resolución espacial para apoyar, entre otras actividades, a las labores agronómicas de los cultivos (ASENSIO; PEREZ; MORAN, 2008).

Estas aplicaciones que se circunscriben en las técnicas de Sensoramiento Remoto (también conocidas como Teledetección), para el cultivo de la palma de aceite han incursionado como apoyo a varios campos de la actividad agronómica (RINCÓN et al., 2015); (SELVARAJA et al., 2013); (SHAFRI; HAMDAN; IZZUDDIN; ANUAR, 2012). Sin embargo, prima la orientación al apoyo en el diagnóstico de enfermedades dado que esta es una actividad que demanda gran cantidad de mano de obra.

Una de las enfermedades de mayor impacto en la palmicultura colombiana ha sido la Pudrición del cogollo (PC) causada por *Phytophthora palmivora*, que ha llevado a eliminar cerca de 60,000 ha en el país en los últimos 10 años. Investigadores de Cenipalma han realizado la Escala de Severidad de la enfermedad, proporcionando una herramienta para el diagnóstico cuyo fin es detectar los estados de la enfermedad, donde según el área afectada es categorizado de grado 0 cuando la palma carece de lesiones y la flecha muestra vigor y sanidad;

aparecen los grados de acuerdo al aumento del porcentaje de área afectada de la flecha (TORRES et al., 2008). Las posibilidades más altas de recuperación de la palma enferma se da en grados inferiores al 3 (RINCÓN et al., 2009); (SARRIA et al., 2014).

Considerando las características epidémicas de la enfermedad, y que la detección en estado temprano en palma adulta demanda mayor esfuerzo debido a la altura, se ha planteado el uso de imágenes aéreas de alta resolución para determinar la capacidad de identificación de palmas con PC en estados tempranos a partir de imágenes aéreas de alta resolución espacial, apoyándose principalmente en el uso de índices espectrales de vegetación que faciliten el diagnóstico de la enfermedad. El uso de los índices surge como una medida para mitigar los efectos que tienen las variaciones en la radiación solar y las condiciones atmosféricas sobre imágenes tomadas desde plataformas aéreas, de tal manera que al combinar varias bandas espectrales es posible llegar a caracterizar, de manera repetible, la imagen tomada de una misma superficie en diferentes momentos (BASSO; CAMMARANO; DE VITA, 2004); (JACKSON; HUETE, 1991).

Si bien, ya se han publicado trabajos en donde se indica la viabilidad del uso de fotografías aéreas de alta resolución espacial para la detección de la PC (GÓMEZ; SEGURA, 2012); (MONTERO; RUEDA, 2018); (ORTIZ, 2014), una revisión a fondo de los resultados permite entender que la detección que viabiliza la tecnología es en estados avanzados de la enfermedad

(MARTÍNEZ et al., 2009), y por lo tanto, desde esta óptica, aún no se tendría una herramienta eficiente como apoyo al manejo de la PC, basado en la detección temprana, que permita una intervención oportuna de las palmas afectadas, a partir de las estrategias de manejo como censo sanitario, eliminación de palma y remoción de tejidos enfermos.

Por tal motivo, de manera integrada, las áreas de Geomática y Fitopatología de Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma) y el grupo de investigación Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero, Norte de Santander (CEDRUM NDS) perteneciente a la iniciativa Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA) del Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA, han adelantado esfuerzos con el fin de establecer los alcances que puede tener el uso índices de vegetación calculados a partir de fotografías aéreas de alta resolución espacial para la detección temprana (grados iniciales) de la PC en palma adulta. Estos esfuerzos interinstitucionales buscan beneficiar a los pequeños y medianos productores que por sus condiciones socioeconómicas no trabajan en la implementación de sistemas preventivos que permitan la identificación de problemas fitosanitarios de importancia económica. Desde esta perspectiva se busca la apropiación social del conocimiento.

## **2 Materiales y métodos**

Para establecer la pertinencia de los índices de vegetación a partir de imágenes aéreas de alta resolución espacial en la

identificación temprana de la PC en el cultivo de la palma de aceite, se tomaron imágenes sobre las palmas enfermas y su entorno, en plantaciones de la Zona Central palmera de Colombia.

Las plantaciones están ubicadas en los municipios de Barrancabermeja, Sabana de Torres y San Vicente de Chucurí, departamento de Santander, de manera específica en el campo experimental Palmar de La Vizcaína - CEPV (Latitud 6,974214 Longitud -73,690352), El Palmar (Latitud 7,2335041 Longitud -73,6199386) y Palmeras de Yarima Latitud 6,8071978 Longitud -73,7212146.

Las palmas enfermas se seleccionaron en función de la detección de los casos realizados por las cuadrillas de censo de enfermedades de las plantaciones y de la disponibilidad de la plantación para facilitar la toma de imágenes antes del inicio del tratamiento sobre la palma detectada (cirugía), realizándose el análisis a 43 palmas enfermas pertenecientes a los grados de severidad 1, 2 y 3; y 55 palmas sanas.

### ***2.1 Toma de imágenes***

Como se mencionó, la selección de las palmas se realizó en función de la información proporcionada por las cuadrillas de censo de enfermedades de las plantaciones. En las plantaciones se llevó a cabo el plan de manejo integrado, identificando en las palmas los grados de severidad de la enfermedad, que en general no llegaron a ser mayor al grado 3 (MARTÍNEZ et al., 2009).

En todos los casos se realizó la toma de las imágenes en un lapso no mayor a 24 horas desde que se diagnosticó la enfermedad en la palma, con el fin de obtener las condiciones más similares a aquellas en que el operario realizó la detección y adicionalmente para no interrumpir el proceso propio de manejo de la enfermedad.

Para la toma de las imágenes se utilizó un multi-cóptero DJI Matrice 100 al cual se le adaptó una cámara multiespectral Tetracam Micro ADC (Figura 1) que posee las siguientes especificaciones técnicas:

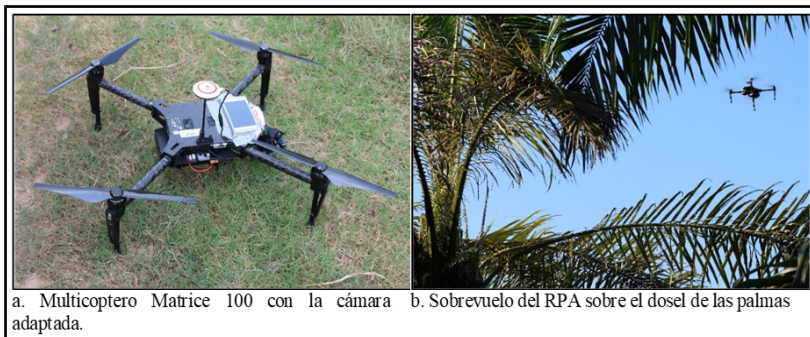
- Dimensiones del sensor (mm): 6.55 x 49.2
- Tamaño del pixel ( $\mu\text{m}$ ): 3.2
- Distancia focal (mm): 8.43
- Rango espectral (nm): 520 – 900

De acuerdo a lo informado por el fabricante la cámara Micro ADC ella posee las bandas Verde (G), Rojo (R) e Infrarrojo cercano (NIR) equivalentes a las bandas disponibles en la misión TM-4 de Landsat, por lo cual las longitudes de onda de las bandas de la cámara son:

- Banda Verde (G) 520-600 nm
- Banda Roja (R) 630-690 nm
- Banda Infrarroja (NIR) 760-900 nm



Figura 1 – Toma de imágenes aéreas sobre la plantación de palma de aceite

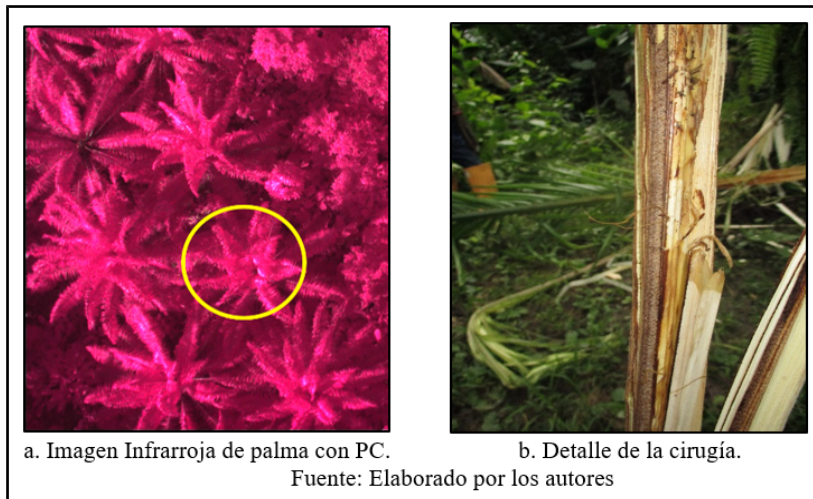


Fuente: Elaborado por los autores.

Los factores que generan mayor variabilidad en el cálculo de índices de vegetación con cámaras convencionales, son el tipo de cámara, la elevación y la fluctuación de las condiciones de iluminación solar durante la obtención de la imagen (RASMUSSEN, NTAKOS, et al., 2016), por lo tanto se realizó la toma de imágenes entre las 10 y 14 horas y se estableció como altura estándar 100 m desde el suelo, buscando una óptima relación entre una alta resolución espacial y área abarcada por cada imagen, capturando por cada imagen aproximadamente 60 palmas con una resolución espacial de 3.8 cm por pixel.

De manera posterior a la toma de las imágenes, se realizó una cirugía de acuerdo al plan de manejo de la enfermedad (TORRES et al., 2008) y con lo cual se pudo constatar que la palma realmente tuviese la enfermedad (Figura 2).

Figura 2 – Detalle de la evidencia de la enfermedad en la palma detectada



Fuente: Elaborado por los autores.

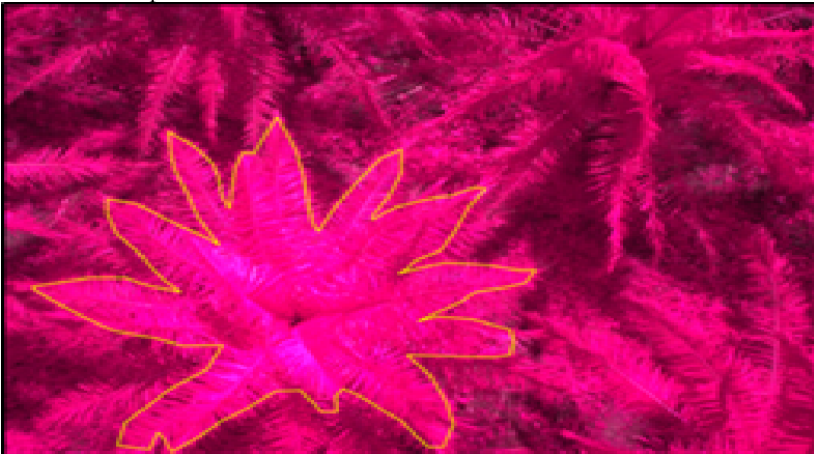
## ***2.2 Procesamiento de imágenes***

Las imágenes fueron convertidas del formato RAW (Crudo) a formato TIFF por medio del software Pixel Wrench (Tetracam Inc) para poder realizar la georreferenciación y facilitar la manipulación de las imágenes. Posterior a la conversión de formato se realizó la georreferenciación de las imágenes utilizando como puntos de referencia las coordenadas de las palmas identificables en las imágenes; este proceso fue realizado con el software QGIS (OSGeo).

Teniendo en cuenta que debido a la arquitectura del dosel de la palma se proyectan sombras en algunas de sus hojas, lo que

altera de manera significativa los valores que se midan en estas zonas oscuras, fue necesario construir máscaras a través de la delineación de las áreas de dosel sin sombra con el fin de delimitar las áreas a analizar de cada palma (Figura 3).

Figura 3 – Ejemplo de máscara trazada para establecer el área de análisis en la palma sin sombras



Fuente: Elaborado por los autores.

### **2.3 Índices de vegetación**

La oferta de índices de vegetación es generosa en cuanto a las posibles combinaciones matemáticas que se pueden realizar con los valores de las bandas espectrales (BASSO; CAMMARANO; DE VITA, 2004); (DÍAZ GARCÍA-CERVIGÓN, 2015); (JACKSON; HUETE, 1991); (WU, 2014), sin embargo, la selección de los índices estuvo sujeta a las bandas disponibles en la cámara Micro ADC, descartando además

aquellos índices que incluyen el concepto de “línea de suelo” (corresponde al uso de índices para discriminar suelo sin vegetación), debido a que el cálculo de los índices se realizó de manera controlada sobre los doseles de las palmas utilizando máscaras. De acuerdo a lo anterior se trabajó con los índices indicados en la Tabla 1.

Tabla 1 – Índices de vegetación utilizados en el estudio

Índice	Sigla	Definición	Consideraciones
Índice de vegetación de razón	VI	$RVI = NIR / R$	En condiciones de una cobertura vegetal densa, en el caso del maíz el índice es muy sensible a los cambios presentes en la vegetación en el pico de crecimiento. No es muy sensible en condiciones de una cobertura vegetal dispersa.
Índice de vegetación normalizado	NDVI	$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$	Índice publicado por Deering (1978). Al igual que le RVI es muy sensible a vegetación densa. El valor máximo se aproxima a 1 y usualmente el valor mínimo del índice se aproxima a cero, dependiendo del sensor.
Índice de vegetación Verde	GVI	$GVI = NIR / G$	Siguiendo las consideraciones del RVI, introduce la banda del verde para comparar en este caso la relación de las dos bandas con tendencias similares en condiciones de vegetación sana.
Índice Rojo Verde	G	$RG = R / G$	Este índice en condiciones de vegetación sana tiende a cero, y a medida en que el vigor “verde” disminuye el índice tiene a crecer.
Índice RVI normalizado	NRVI	$NRVI = \frac{RVI - 1}{RVI + 1}$	Se reducen efectos topográficos, iluminación y efectos atmosféricos

Índice	Sigla	Definición	Consideraciones
Índice de diferencia verde rojo normalizado	NGRDI	$\text{NGRDI} = \frac{G - R}{G + R}$	Similar al NDVI utiliza la comparación entre la banda verde en lugar de la infrarroja cercana. En teoría es un índice menos sensible debido al menor contraste de las reflectancias en Verde y rojo. Sin embargo es muy útil en ausencia de la banda infrarroja cercana.
Transformada de TIAM del NDVI	TTVI	$\text{TTVI} = \sqrt{\text{Abs}(\text{NIR} - R) / (\text{NIR} + R) + 0.5}$	Este índice está orientado a establecer una distribución normal en los resultados.
Índice de vegetación normalizado del verde	GNDVI	$\text{GNDVI} = \frac{\text{NIR} - G}{\text{NIR} + G}$	Bajo el mismo concepto que el NDVI pero no muestra la oposición de NIR y R, sino que se basa en la similitud de tendencias entre NIR y G.

Fuente: Jackson y Huete (1991).

Los insumos para calcular un índice de vegetación pueden variar desde el uso del voltaje de salida del sensor, los valores de radiancia, valores de reflectancia o los niveles digitales de la cámara. Resultando válida cada una de las maneras de realizar el cálculo, los resultados del índice de vegetación estarán sujetos a la fuente de datos utilizada (JACKSON; HUETE, 1991). Debido a las consideraciones anteriores, se realizó el cálculo de los índices a partir de los niveles digitales.

El cálculo de los índices se realizó mediante la herramienta de calculadora ráster del software QGIS utilizando las fórmulas descritas en la Tabla 1.

## ***2.4 Comparación de datos***

El valor representativo del índice en cada palma se obtuvo a partir del cálculo de la media de los valores de los píxeles encontrados dentro de la máscara. Debido a que el propósito del estudio es determinar si alguno de los índices de vegetación puede permitir discriminar una palma diagnosticada como enferma en estado temprano con respecto a una palma sana, se realizó la prueba de comparación de medias de muestras independientes.

El análisis de comparación de medias se realizó de manera diferenciada para cada uno de los ocho índices analizados. A cada una de las muestras se le realizó la verificación del supuesto de igualdad de varianzas, empleando el software estadístico R.

## **3 Resultados y discusión**

Los vuelos realizados a 100 metros sobre el dosel permitieron registrar dentro de las imágenes, a la palma enferma y a sus vecinas (Figura 4), a las cuales no se les reportó evidencia de la enfermedad.

De esta manera se realizó la comparación de medias para los ocho índices de vegetación propuestos a cada una de las palmas sanas y enfermas.

Figura 4 – Selección de palmas sanas alrededor de las enfermas (círculo amarillo palma con PC y círculo verde palma Sana)

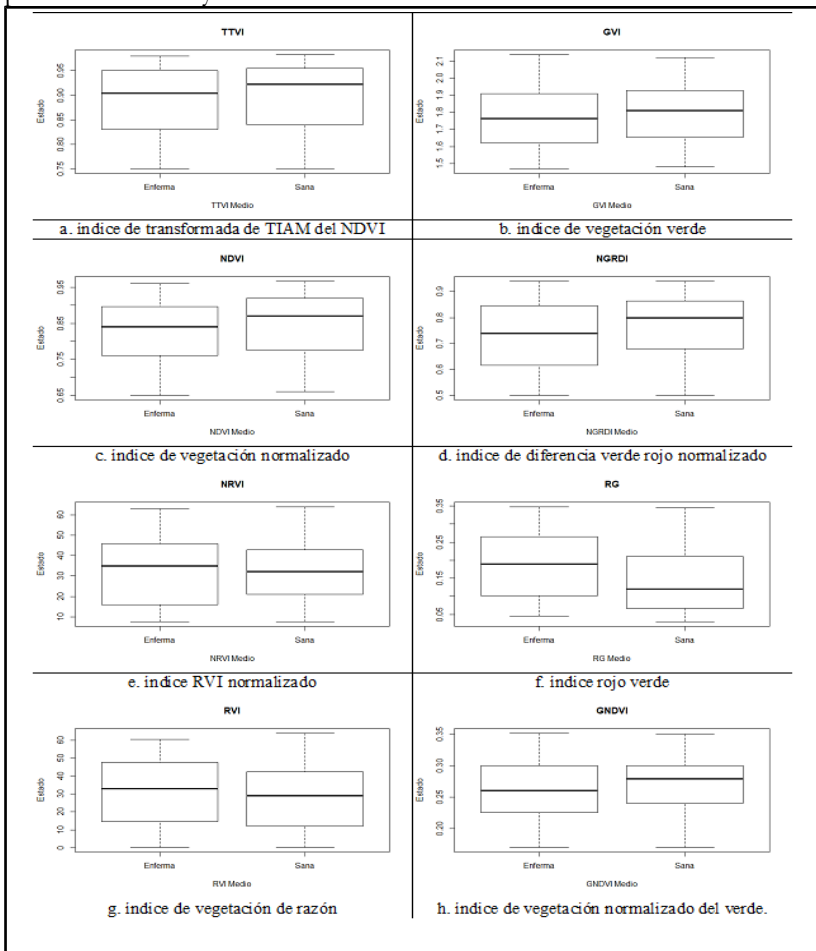


Fuente: Elaborado por los autores.

El análisis de los diagramas de caja de cada uno de los índices para palmas sanas y enfermas, muestra que las medianas y la distribución de los datos en ambas condiciones de la palma se observan similares (Figura 5).

En la Tabla 2 se relacionan los valores medios de los índices para cada uno de los grupos de palmas, el p-valor de la evaluación del supuesto de varianzas iguales y el p-valor del test de medias no pareadas que indica que no se puede rechazar a una significancia del 5% la hipótesis de que las medias son iguales para los índices calculados de los dos grupos de palmas.

Figura 5 – Diagramas de caja para la distribución de los índices para palmas enfermas y sanas



Fuente: Datos de la investigación.



Tabla 2 – Prueba de diferencia de medias de los índices de vegetación

Índice	Palma enferma	Palma sana	p-valor Test Varianzas	p-valor Test medias
GNDVI	0.2654	0.2689	0.4561	0.721
GVI	1.7813	1.8050	0.876	0.5378
NDVI	0.8261	0.8462	0.833	0.2777
NGRDI	0.7310	0.7628	0.9531	0.2517
NRVI	33.2146	31.8839	0.3906	0.6831
RG	0.1892	0.1502	0.7893	0.0453
RVI	31.0631	29.0732	0.6615	0.5896
TTVI	0.888	0.894	0.8787	0.7135

Fuente: Datos de la investigación.

De acuerdo a los resultados observados, la tecnología de fotografías aéreas de alta resolución espacial no es promisoría para la detección temprana de la PC. Esto se debe a que dentro del proceso de infección *P. palmivora*, el patógeno es atraído hacia los tejidos más tiernos y puntos de penetración específicos como los trichomas (SARRIA et al., 2016). En el desarrollo de la PC las lesiones se avanzan afectando cada vez los tejidos más internos hasta afectar el cogollo (MARTÍNEZ, SANZ, et al., 2016), alcanzando a mostrar un secamiento completo de las flechas y por último la afectación completa del cogollo en estados avanzados, fenómeno conocido como “cráter”.

Como ya se ha mencionado, los artículos publicados por (MONTERO; RUEDA, 2018); (GÓMEZ; SEGURA, 2012); (ORTIZ, 2014) argumentan la aplicabilidad de la tecnología objeto del presente estudio; sin embargo, se debe tener en consideración que en dichos trabajos las palmas identificadas como enfermas, presentaron grados a nivel de cráter. De este

modo, aunque los estudios pueden ser válidos para la diferenciación de palmas enfermas con PC, no lo son para el diagnóstico temprano de la enfermedad.

Para el desarrollo de la investigación se tomaron fotografías aéreas sobre la plantación de palma de aceite debido a que se consideró como una herramienta operativa que permitía obtener un registro acorde a la periodicidad de los censos según el plan de manejo de la enfermedad, frente a la inviabilidad de uso de las fotografías satelitales ya que la probabilidad de contar con buenas imágenes (sin nubes) y, con la periodicidad requerida para Colombia es muy baja y tiene un mayor costo económico.

#### **4 Conclusiones y recomendaciones**

Las fotografías aéreas de alta resolución espacial multiespectrales, en las condiciones de este estudio, no permitieron discriminar palmas sanas de palmas en un estado temprano de la PC. Sin embargo, debido a que el área afectada (flechas y cogollo) de la palma en las etapas iniciales de la enfermedad es significativamente inferior al área total del dosel de la misma, vista desde una imagen aérea perpendicular, es probable que sea necesaria una captura de imágenes y análisis más detallado donde se aisle el área afectada de la palma y así validar el uso las imágenes aéreas para la detección temprana de la enfermedad. Por tanto para trabajos posteriores se podría aumentar la resolución espacial de las imágenes; sin embargo, se tendrán que considerar la localización de la lesión y la posibilidad de que esta quede registrada en la fotografía aérea.

Si bien el presente estudio presenta resultados negativos sobre la aplicación de fotografías adquiridas con RPA, se considera que dichos resultados contribuirán a minimizar el desgaste operativo y económico que se puede llegar a presentar en medio de emergencias fitosanitarias manifiestas por PC.

## 5 Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo de Fomento Palmero, SENA y Cenipalma por la financiación y apoyo al proyecto de investigación.

## Referências

ASENSIO, J.; PEREZ, F.; MORAN, P. UAV Beneficios y límites. **Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures**, [s. l.], p. 1-5, 2008.

BASSO, B.; CAMMARANO, D.; DE VITA, P. Remotely sensed vegetation indices: theory and applications for crop management. **Italian Journal of Agrometeorology**, Florence, v. 35, n. 1, p. 36-53, 2004.

DÍAZ GARCÍA-CERVIGÓN, J. J. **Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS / RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión**. 2015. Disertación (Máster en Tecnologías de la Información Geográfica) - Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2015. Disponible em:  
<https://pt.scribd.com/document/330130151/Estudio-de->

[Indices-de-vegetacion-a-partir-de-imagenes-aereas-pdf](#). Acceso em: 01 dez. 2019.

GÓMEZ, S.; SEGURA, F. **An aerial monitoring system (AMS) for detecting bud-rot diseases on oil palms**. Bogotá: Universidad de Los Andes, 2012.

HURTADO, R. et al. Agricultura de precisión: Análisis exploratorio de evolución espacio-temporal de la incidencia de Pudrición del Cogollo (PC) de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Núcleo productivo de San Andrés de Tumaco. **Revista Palmas**, Bogotá, v. 30, n. 2, p. 35-52, 2009.

JACKSON, R.; HUETE, A. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, Amsterdam, v. 11, p. 185-200, 1991.

MARTÍNEZ, G. et al. **Manejo integrado de la Pudrición del cogollo (PC) de la Palma de aceite**. Bogotá: CENIPALMA, 2009.

MARTÍNEZ, G. et al. Nuevos hallazgos sobre la Pudrición del cogollo de la palma de aceite en Colombia: biología, detección y estrategias de manejo. **Revista Palmas**, Bogotá, v. 35, n. 1, p. 11-17, 2014.

MARTÍNEZ, G. et al. Integrated management of bud rot disease in oil palm caused by *Phytophthora palmivora*. **Achieving sustainable cultivation of oil palm**, London, v. 2, 2016.

MONTERO, D.; RUEDA, C. Detection of palm oil bud rot employing artificial vision. **IOP Conference Series: Material Science and Engineering**, Bristol, v. 437, p. 1-6, 2018.

ORTIZ, N. **Plataforma Hardware para la detección de la Pudrición de Cogollo en Palma Africana**. Bogotá: Universidad de Los Andes, 2014.

RASMUSSEN, J. et al. Are vegetation indices derived from consumer-grade cameras mounted on UAVs sufficiently reliable for assessing experimental plots? **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 74, p. 75-92, 2016.

RINCÓN, V. et al. Perspectivas de la tecnología VANT en el cultivo de palma de aceite: monitorización del cultivo mediante imágenes aéreas de alta resolución. **Revista Palmas**, Bogotá, v. 36, n. 3, p. 24-41, Julio-Septiembre 2015. ISSN 0121-2923.

SARRIA, G. et al. Histopathological studies of the process of *Phytophthora palmivora* infection in oil palm. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 145, n. 1, p. 39–51, 2016.

SELVARAJA, S. et al. Use of spectral reflectance to discriminate between potassium deficiency and orange spotting symptoms in oil palm (*Elaeis guineensis*). **Life Science Journal**, Zhengzhou, v. 10, n. 4, p. 947-951, 2013.

SHAFRI, H.; HAMDAN, N.; IZZUDDIN ANUAR, M. Detection of stressed oil palms from an airborne sensor using optimized spectral indices. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 33, n. 14, p. 4293–4311, 2012.

TORRES, G. et al. Opciones de manejo de la Pudrición del cogollo (PC) de la Palma de aceite en áreas de baja incidencia de la enfermedad. **Revista Palmas**, Bogotá, v. 29, n. 3, p. 63-72, enero 2008.

WU, W. The Generalized Difference Vegetation Index (GDVI) for dryland characterization. **Remote Sensing**, Basel, v. 6, n. 2, p. 1211–1233, 2014.