

Identificación temprana de palmas afectadas por la Pudrición basal del estípite (PBE) a través de imágenes tomográficas *

Early Identification of Palms Affected by Basal Stem Rot (BSR) with Tomographic Images

CITACIÓN: Arango, M. y Martínez, G. (2014). Identificación temprana de palmas afectadas por la Pudrición basal del estípite (PBE) a través de imágenes tomográficas. *Palmas*, 35(4), 21-29.

PALABRAS CLAVE: *Elaeis guineensis*, *Ganoderma* spp., tomógrafo, Colombia.

KEY WORDS: *Elaeis guineensis*, *Ganoderma* spp., tomograph, Colombia.

RECIBIDO: mayo de 2014.

APROBADO: junio de 2014.

* Artículo de investigación e innovación científica y tecnológica.

MAURICIO ARANGO

Programa de Plagas y
Enfermedades, Cenipalma
carango@cenipalma.org

GERARDO MARTÍNEZ

Coordinador Programa de Plagas y
Enfermedades, Cenipalma
gerardo.martinez@cenipalma.org

Resumen

La Pudrición basal del estípite (PBE) es la enfermedad más importante de la palma de aceite en el Sureste Asiático y, en Colombia, cada vez toma mayor relevancia porque las incidencias han incrementado continuamente durante los últimos años. En la búsqueda de alternativas que permitan la detección temprana de las palmas afectadas, Cenipalma evaluó el tomógrafo eléctrico en plantaciones ubicadas en las zonas palmeras Norte y Central. Fueron analizadas en total 687 tomografías, de las cuales 209 correspondieron a palmas con daños macroscópicos asociados a la PBE y 478 plantas aparentemente sanas. Los resultados indicaron que, de acuerdo con las variables valor mínimo de resistencia eléctrica, cociente entre los límites máximos y mínimos y análisis de las tomografías en el rango entre 1 y 95 (Ω), del total de plantas aparentemente sanas, 346 correspondieron a palmas asintomáticas y solo 132 a imágenes de palmas realmente sanas. Se presentó en el grupo de palmas sanas un promedio para el valor mínimo de resistencia eléctrica de 116,5 Ω y un cociente entre los límites de 1,53; en las palmas asintomáticas los valores fueron de 85,3 Ω y 1,90, respectivamente; finalmente, para las palmas enfermas el valor promedio de la resistencia eléctrica mínima fue de 39,5 Ω y el cociente de 5,15. Se concluye que el tomógrafo es una herramienta de gran utilidad para la identificación de las diferentes etapas de desarrollo de la Pudrición basal en la palma de aceite, y que con la identificación temprana de las plantas infectadas a través del correcto análisis de las tomografías, será posible la implementación de prácticas de manejo y control de esta enfermedad.

Abstract

Basal stem rot (BSR) is the most important disease in oil palm in southeastern Asia. In Colombia is becoming an important disease because of the recent increase in the number of cases. In the search of early detection alternatives for affected palms, Cenipalma evaluated the use of an electric resistance Picus tomograph, in plantations in the Central and Northern oil palm zones of Colombia. In both zones a total of 687 tomographies were analyzed, 209 of them revealed palms with macroscopic symptoms of the disease, and 478 showed apparently healthy palms. The results indicate that according with the variables: minimum resistance value, quotient between maximum and minimum values, and the analysis of the tomographies in the range 1 and 95 (Ω), 346 out of the 478 asymptomatic palms were affected by BSR, and only 132 of them did not have internal symptoms and thus considered healthy palms. The minimum value of resistance had an average of 116,5 Ω and a quotient between the limits of 1,53 for healthy palms. In the asymptomatic diseased palms these values were 85,3 Ω and 1,90 respectively; finally for the palms with external symptoms the average of the electric resistance minimum value was 39,5 Ω and the quotient was 5,15. These results lead to conclude that the tomograph is a useful tool for the identification of the different stages of development of basal stem rot in oil palm, and by means of this early identification of infected palms through the correct analysis of the tomographies, the adoption of control and handling practices for this disease will be possible.



Introducción

En Colombia, la palma de aceite se encuentra establecida en más de 476.000 ha., siendo el primer productor de América Latina (Fedepalma, 2013). Entre las enfermedades más importantes del cultivo se destacan la Pudrición del cogollo (PC) y la Marchitez letal (ML), ambas con consecuencias económicas importantes para el sector.

Otra enfermedad que recientemente se sumó al grupo de las patologías económicamente importantes y que ponen en riesgo la sanidad de las plantaciones es la Pudrición basal del estípite (PBE). Durante la década de 1990 al 2000 no se consideró como una amenaza sanitaria importante en Colombia; sin embargo, debido al aumento reciente en el número de casos registrados en las zonas afectadas y a la expansión hacia nuevas zonas palmeras, Martínez (2011) la catalogó como la tercera enfermedad más importante de la palma de aceite.

En los principales países productores del Sureste Asiático, la Pudrición basal de estípite (PBE) es la enfermedad más importante del cultivo y, de acuerdo con Meon (2005), en Malasia las pérdidas ocasionadas

fueron superiores al 85 % en las plantaciones infectadas con edades mayores de 25 años. Los síntomas macroscópicos que manifiestan las palmas infectadas y que las hacen visibles al personal de campo solo ocurren cuando los daños al interior del estípite son avanzados (Turner, 1981). Según Hushiarin (2013), aún no se dispone de herramientas adecuadas que permitan realizar un diagnóstico oportuno y evitar que el potencial de inóculo incremente.

Turner (1981) y Chung (2011) mencionaron que los síntomas más comunes de la Pudrición basal del estípite son la acumulación de flechas, el enruanamiento de las hojas y la clorosis foliar. De acuerdo con Turner (1981), en el momento que se observan estas características en las palmas infectadas, más del 50 % de la sección basal del estípite ha sido infectada por el patógeno. En Colombia síntomas similares fueron descritos por Nieto (1994); Nieto (1995); Pineda y Martínez (2010) y Mestizo *et al.*, (2012).

Internamente, la enfermedad produce pudrición seca de los tejidos en la parte basal del tallo, estas pudriciones generalmente son de formas irregulares y

con diferentes tonalidades marrones. En casos avanzados es posible observar las fructificaciones del hongo *Ganoderma* spp. en la base del tallo y, ocasionalmente, en las raíces cercanas al estípite (Turner, 1981).

De acuerdo con Singh (1995) y Mazliham *et al.*, (2008), el basidiomiceto *Ganoderma* spp. es considerado como el responsable de la PBE; adicionalmente, mencionaron que las estructuras del patógeno permanecen como saprófitas en tocones o raíces en descomposición que quedan en el suelo, siendo esta la primera ruta de infección al entrar en contacto con nuevos tejidos de las plantas. En contraste, Ariffin *et al.*, (2000), Flood *et al.*, (2003) y Rees *et al.*, (2009), destacaron que a pesar del gran número de basidiosporas que el hongo produce, no son claras las formas de dispersión de la enfermedad.

Según Hushiarian (2013), son escasas las herramientas que permitan identificar palmas infectadas en estados iniciales de desarrollo; al respecto, Utomo y Niepold (2000) y Toh Choon *et al.*, (2009) mencionan que técnicas moleculares y otras basadas en identificar la presencia de ergosterol en los tejidos de plantas infectadas permitieron avanzar en el diagnóstico de la PBE; sin embargo, la alta inversión en recursos económicos y disponibilidad a nivel de técnicos de plantación han restringido su uso a plantaciones comerciales.

Otra herramienta de diagnóstico es la llamada tomografía de resistencia eléctrica, técnica desarrollada por Bieker y Rust (2010), para plantaciones forestales, pero que en la actualidad se emplea en pal-

ma de aceite (Argus Electronic, 2010). La metodología consiste en emitir impulsos eléctricos al interior de los tejidos para conocer las áreas de máxima y mínima resistencia eléctrica.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el tomógrafo de resistencia eléctrica como una herramienta de diagnóstico temprano de plantas infectadas por la Pudrición basal del estípite, en cultivos de palma de aceite ubicados en las zonas palmeras Norte y Central de Colombia.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en dos zonas palmeras de Colombia, en la Zona Central se seleccionó la plantación Indupalma y en la Zona Norte el trabajo se realizó en las plantaciones Palmeras de la Costa, Macaraquilla y Buenavista. En todos los casos las plantas analizadas fueron de edad superior a 13 años.

Construcción de las tomografías

Se seleccionaron palmas con síntomas macroscópicos de la PBE y palmas sin presencia de lesiones asociadas con la enfermedad. En los casos necesarios, se removieron las bases peciolares con el fin de instalar adecuadamente los sensores del tomógrafo.

Para capturar cada tomografía se midió con una cinta métrica el diámetro del estípite y se instalaron 12 sensores equidistantes a tres centímetros de profundidad, con los cuales se accionó el sistema (Figura 1).



Figura 1. Instalación de los sensores y electrodos en cada palma para la captura de las imágenes tomográficas.

En cada sensor instalado se conectó un electrodo sobre el cual se emitió la corriente eléctrica con ayuda del tomógrafo (Figura 1). Los datos de ubicación de la palma (línea-palma), el norte geográfico, la altura del nivel, el número de puntos de medida (número de electrodos), la distancia entre los puntos, y la corriente eléctrica a aplicar (automática), fueron necesarios para accionar el sistema y capturar la información.

Cada planta con síntomas macroscópicos de la PBE se erradicó y se realizó en ella un corte en el punto donde se capturó la imagen tomográfica. Finalmente, se tomó una fotografía *in situ* para comparar la imagen capturada con la forma y avance de la lesión observada en cada planta enferma.

La descarga de los datos se realizó a través del *software* Picus Q73®. A cada una de las imágenes capturadas se les modificaron los parámetros de *smoothness* y *mesh fineness* a 20 y 8, respectivamente. El ajuste se realizó porque en las pruebas preliminares las imágenes presentaron mejor resolución y menor variación entre los límites de resistencia eléctrica máximos y mínimos.

La interpretación de las tomografías se realizó con los valores de resistencia eléctrica mínimos y máximos, y el cociente entre ellos. Adicionalmente, cada tomografía se analizó en una imagen a diferentes rangos de resistencia en ohmios (Ω), para establecer el

nivel más adecuado de acuerdo con las lesiones iniciales que presentaron las palmas enfermas.

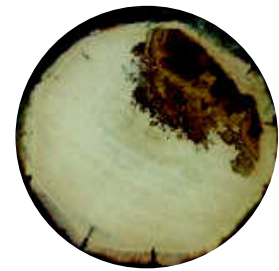
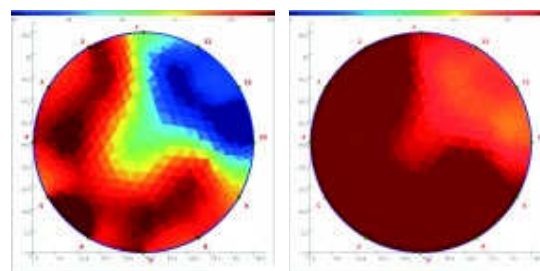
Resultados y discusión

Se procesaron 687 imágenes tomográficas entre las palmas con síntomas macroscópicos de la PBE y las palmas aparentemente sanas; en el 100 % de ellas se observó una escala de colores azules, verdes, amarillos y rojos. Los colores representaron gráficamente los valores de resistencia eléctrica en ohmios que arrojó cada tomograma; los tonos azules indicaron valores bajos de resistencia eléctrica y los tonos rojos los valores altos, los colores verdes y amarillos representaron los valores medios (Figura 2).

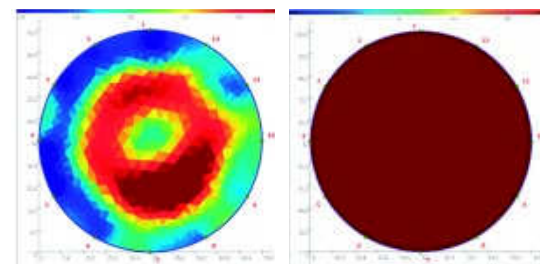
Como en las tomografías de las palmas aparentemente sanas se observaron tonos azules similares a las capturadas en plantas enfermas (Figura 2), la interpretación de las imágenes se realizó en función del valor mínimo de resistencia eléctrica, el máximo y el cociente entre ambos. Adicionalmente, cada imagen se procesó en un rango entre 1 y 95 ohmios, el cual se seleccionó después de varias evaluaciones preliminares, en las cuales el objetivo fue identificar el rango más apropiado para filtrar las imágenes y obtener una mejor correlación entre el estado real de los tejidos y la imagen tomográfica (Figura 2).

Figura 2. De izquierda a derecha, tomografías originales procesadas en el rango entre 1 y 95 Ω y fotografías correspondientes a una palma enferma y otra sana.

Palma enferma



Palma sana



Cuando se analizaron otros rangos diferentes al 1-95 Ω , las imágenes analizadas permitieron identificar solamente las lesiones avanzadas y los daños severos en los tejidos, como fue el caso del rango 1-50 Ω . El caso contrario se presentó al analizar el rango entre 1 y 120 Ω , en este se expresaron como lesiones puntos en los cuales no existieron evidencias de áreas infectadas al interior del estípote (Figura 3).

Las variables valor de resistencia eléctrica mínimo (Figura 4) y cociente entre el límite máximo y el mínimo, fueron estadísticamente diferentes para cada uno de los grupos de imágenes tomográficas que correspondieron a las palmas con apariencia sana, asintomáticas y enfermas. El análisis de la variable valor de resistencia eléctrica máximo fue estadísticamente igual entre los grupos de plantas analizadas.

Al procesar las tomografías originales en el rango entre 1 a 95 Ω se encontró que en 132 imágenes no se observaron evidencias de daño al interior del estípote y su valor mínimo promedio de resistencia eléctrica fue de 116 ohmios; estas plantas fueron consideradas

como sanas. En 346 tomografías se observó un daño expresado en áreas de color rojo que las hizo sospechosas, en ellas el valor mínimo promedio de resistencia fue de 85 Ω ; estas palmas fueron consideradas como asintomáticas. Finalmente, en 209 tomografías procesadas de palmas que presentaron síntomas macroscópicos de la enfermedad, se observó un color rojo más intenso, en ocasiones, presencia de tonos amarillos, verdes y azules; y en ellas el valor mínimo de resistencia fue de 39 Ω y se consideraron como enfermas (Tabla 1).

El cociente entre los valores de resistencia eléctrica máximo y mínimo de cada tomografía fue la otra variable en la cual los grupos de palmas sanas, asintomáticas y enfermas difirieron estadísticamente. En las palmas sanas el valor promedio de los cocientes entre los valores de resistencia eléctrica máximos y mínimos fue de 1,53; en las asintomáticas la cifra promedio de este cociente fue de 1,90; mientras que para las plantas enfermas el valor fue de 5,15 en promedio (Tabla 1).

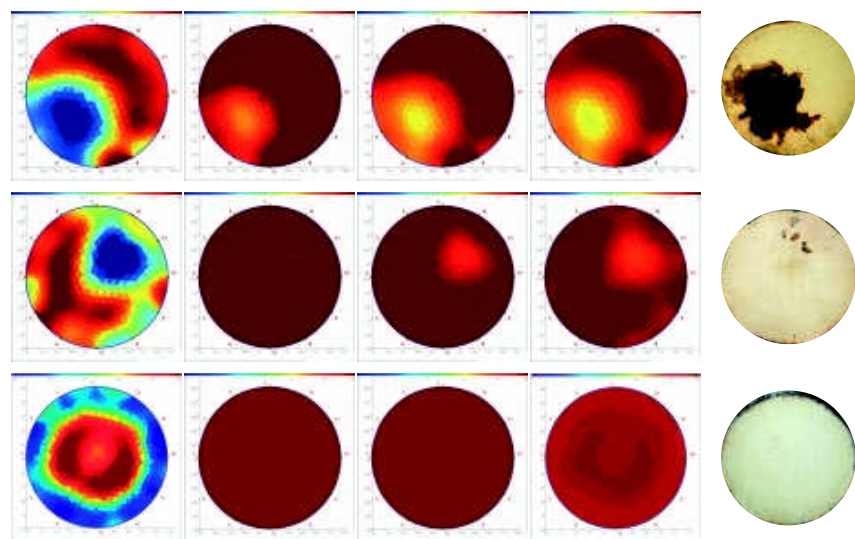


Figura 3. De izquierda a derecha, tomografías originales analizadas en el rango de 1-50 Ω , de 1-95 Ω y de 1-120 Ω para tres palmas, en la línea superior una planta enferma, en la línea del centro una palma asintomática y en la línea inferior en una planta sana.

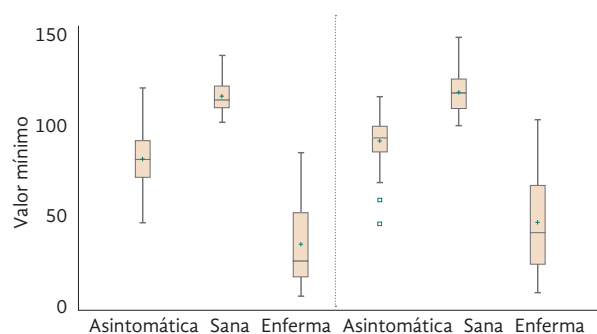


Figura 4. Valor de resistencia eléctrica mínimo de las tomografías correspondientes a cada uno de los grupos de palmas sanas, enfermas asintomáticas y enfermas analizadas en las zonas Central y Norte.

Tabla 1. Valores de resistencia eléctrica máximos, mínimos y sus cocientes entre los límites de las tomografías de palmas sanas, asintomáticas y enfermas evaluadas en las zonas Norte y Central.

Estado	No. de datos	Zona	Variable	Promedio	Mínimo	Máximo	CV
Sana	92	Norte	mínima	116,66	98,00	147,00	9,98
			máxima	181,39	135,00	239,00	14,50
			cociente	1,55	1,20	2,00	11,10
	40	Centro	mínima	114,57	100,00	137,00	8,28
			máxima	173,10	116,00	229,00	12,20
			cociente	1,51	1,16	1,90	11,80
Asintomática	57	Norte	mínima	90,50	45,00	114,00	14,30
			máxima	160,40	98,00	263,00	24,00
			cociente	1,79	1,10	3,10	26,00
	289	Centro	mínima	80,26	45,00	119,00	17,04
			máxima	157,82	81,00	255,00	17,60
			cociente	2,01	1,26	4,04	26,40
Enferma	57	Norte	mínima	45,00	7,00	102,00	56,50
			máxima	134,50	80,00	299,00	33,10
			cociente	4,00	1,40	15,30	64,80
	158	Centro	mínima	34,00	5,00	84,00	64,01
			máxima	153,70	40,00	292,00	29,00
			cociente	6,31	1,50	16,50	56,80

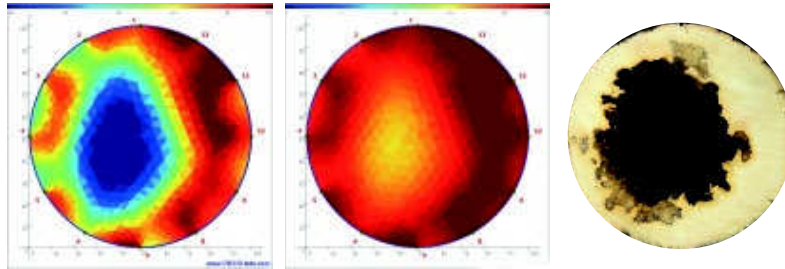
En la Tabla 1 se observa que los coeficientes de variación en las palmas enfermas fueron en promedio cuatro veces superiores a los de las palmas sanas para las variables valor de resistencia eléctrica mínimo y cociente entre los límites, esta situación se presentó por la gran variabilidad en el tamaño de las lesiones que se observaron en las plantas infectadas por la PBE, en este sentido fueron evidentes palmas con daños avanzados y plantas en las cuales los daños fueron iniciales (Figura 5).

De acuerdo con la Tabla 1, el grupo de tomografías consideradas como asintomáticas presentó en la variable valor de resistencia eléctrica mínimo, una cifra 27 % en promedio inferior a la que se dio en las palmas sanas, pero superior en 53 % comparado con las palmas enfermas. Para la variable cociente entre los límites máximo y mínimo, las palmas asintomáticas presentaron un valor superior en 18 % frente a las palmas sanas; en tanto que fue 63 % inferior cuando se comparó con la cifra de las plantas enfermas.

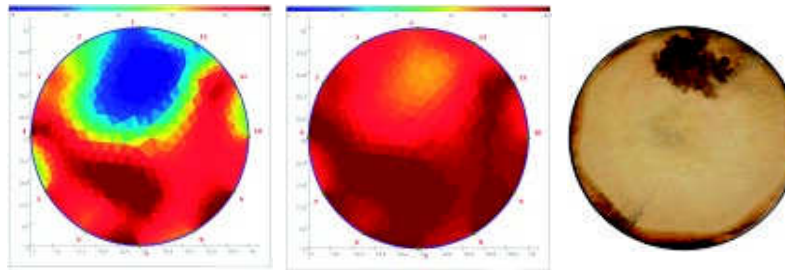
Adicionalmente, en las 346 tomografías de las palmas asintomáticas que se analizaron en el rango entre 1 y 95 ohmios, se observaron puntos en los cuales el color rojo oscuro normal se degradó hacia un rojo claro, que en algunos casos terminó en amarillo. Esta situación indicó la zona donde ocurrieron las lesiones tempranas de la pudrición del estípite (Figura 6).

En el 100 % de las 43 tomografías que sirvieron de muestra para verificar que los degradados en las imágenes correspondieron a lesiones al interior del estípite; se observaron lesiones iniciales de la PBE, las cuales se representaron en las imágenes analizadas entre 1 y 95 Ω con puntos de diferente color (Figura 6). Es importante mencionar que en estas palmas no se observó la presencia de síntomas externos asociados a la enfermedad y la decisión de erradicarlas para esta evaluación se tomó con base en los parámetros evaluados y los resultados obtenidos en el presente estudio.

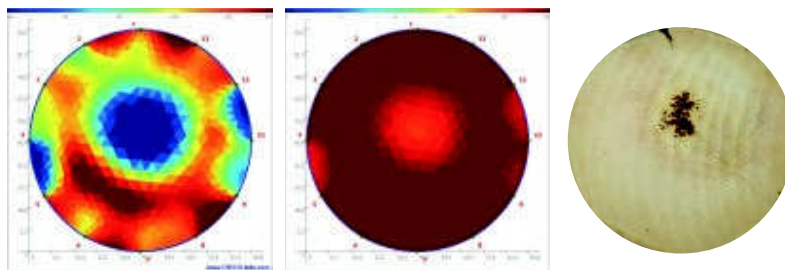
(111/26) 4,3



(107/29) 3,7



(157/62) 2,5



(126/74) 1,7

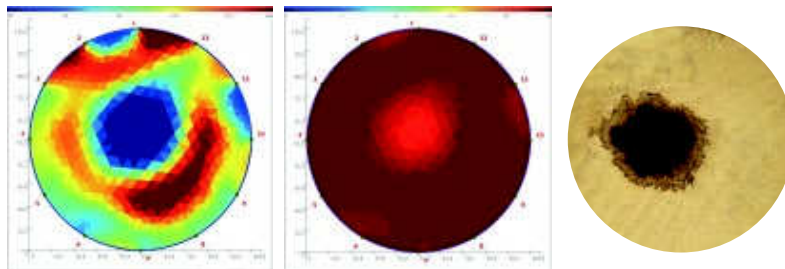


Figura 5. Imágenes tomográficas y fotografías de los cortes correspondientes a dos palmas con síntomas de la PBE. En la línea superior una palma donde el daño fue avanzado, en la línea inferior una palma con daños iniciales asociados a la enfermedad.

Figura 6. Tomografías de palmas asintomáticas en las cuales se verificó que los puntos degradados en la imagen entre 1 y 95 ohmios correspondieran a síntomas internos asociados con la enfermedad.

Conclusiones

Los diferentes tonos que las tomografías presentaron fueron un indicador del daño que la Pudrición basal del estípite ocasionó en los tejidos de las palmas; sin embargo, por sí solos no deben ser la base para la interpretación de las imágenes; estas deben ser interpretadas con base en el valor de resistencia eléctrica mínimo y cociente entre los límites de máximo y el

mínimo, variables que en este estudio permitieron diferenciar los distintos grupos de palmas.

En ambas zonas de estudio hubo diferencias altamente significativas entre los distintos grupos de palmas; en las plantas sanas los valores de resistencia eléctrica mínimos fueron en promedio de 116 Ω , mientras que en las enfermas el valor mínimo promedio fue de 39 Ω ; en las asintomáticas este valor fue de 85 Ω en promedio.

En la variable cociente entre los límites de resistencia eléctrica el promedio para las palmas sanas fue de 1,5, mientras que en las plantas enfermas el valor cociente fue de 5,1 y para las palmas asintomáticas la relación fue de 1,9 en promedio.

En el 100 % de las palmas asintomáticas que las plantaciones permitieron erradicar para corroborar los resultados de las imágenes procesadas, se encontraron lesiones internas asociadas a la enfermedad; en estos estados de desarrollo las palmas infectadas no son detectadas por el personal de sanidad porque no expresan lesiones externas que las hagan evidentes.

Se recomienda continuar evaluando esta metodología en palmas sin presencia de síntomas macroscópicos y localizadas en zonas severamente afectadas por la PBE, con el fin de corroborar los resultados obtenidos y desarrollar una metodología

a nivel comercial que permita a las plantaciones emplear el tomógrafo como una herramienta de diagnóstico de la enfermedad.

Agradecimientos

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a todo el personal de las plantaciones ubicadas en las zonas Norte y Central donde se desarrolló el trabajo. Adicionalmente, al señor Lothar Göcke, funcionario de Argus Electronic gmbh, por el apoyo en la interpretación de las imágenes tomográficas y la M.Sc. Eloina Mesa por su valiosa colaboración en el análisis estadístico de los datos colectados en este estudio.

Estos agradecimientos son extensivos a Fedepalma-Fondo de Fomento Palmero, al Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma, y al SENA en el marco del convenio 369, por el apoyo en el desarrollo de este trabajo.

Referencias bibliográficas

- Argus Electronic. (2010). *PiCUS OilPalmTronic: Electrical Impedance Tomograph for Trees*. Argus Electronic GmbH. Rostock, Germany. 25 p.
- Ariffin, D., Idris, A. & G. Singh. (2000). *Chapter 3: Status of Ganoderma in oil palm*. pp. 49-68. En: Flood, J., Bridge, P. y M. Holderness. *Ganoderma Diseases of Perennial Crops*. CAB International. 350 p.
- Bieker, D. & Rust, S. (2010). Non-destructive estimation of sapwood and heartwood width in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Silva Fennica*, 44(2), 267- 273.
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite- Fedepalma. (2013). *Minianuario estadístico 2013. Principales cifras de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia*. Fedepalma. 55pp.
- Flood, J., Hagan, Y. y H. Foster. (2003). Enfermedades de la palma de aceite causadas por *Ganoderma*: una interpretación de la investigación de la Estación Bah Lias. *Palmas*, 24(3), 9-30.
- Hushiarian, R., Yusof, N.A. & Wada Dutse, S. (2013). *Detection and control of Ganoderma boninense: strategies and perspectives*. SpringerPlus 2: 555 p.
- Martínez, G. (2011). Avances en el manejo sanitario de la palma de aceite. *Palmas*, 32(2), 87-99.
- Mazliham, M., Loonis, P. & A. Idris. (2008). *Chapter 29: Interpretation of sound tomography image for the recognition of Ganoderma infection level in oil palm*. pp. 409-422. En: Castillo, O., Li, X., y S. L. Ao. *Trends in Intelligent Systems and Computer Engineering*. Springer. 740 p.
- Meon, S. (2005). Potencial del manejo biológico de la pudrición basal del tallo en palma de aceite: Problemas, retos y restricciones. *Palmas*, 26(1), 41-54.

- Mestizo, Y., Bandera, G., Aya, H., Sarria, G., Varón, F., Navia, M. y Martínez, G. (2012). Caracterización de síntomas e identificación de microorganismos en palmas de aceite afectadas por la Pudrición basal del estípite. *Palmas*, 33(4), 13-27.
- Nieto, L.E. (1994). Pudrición basal del tallo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq) causada por *Ganoderma* sp. *Palmas*, 15(2), 31-38.
- Nieto, L.E. (1995). Incidencia de pudriciones de estípite de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq) en Colombia. *Palmas*, 16(Número especial), 227-232.
- Pineda, B. y Martínez, G. 2010. *Reconocimiento de enfermedades en la palma de aceite. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: Guía para facilitadores*. Bogotá (Colombia). 138 p.
- Rees, R.W., Flood, J., Hasan, Y., Potter, U. & Cooper, R. M. (2009). Basal stem rot of oil palm (*Elaeis guineensis*); mode of root infection and lower stem invasion by *Ganoderma boninense*. *Plant Pathology*, 58, 982-989.
- Singh, G. (1995). Pudrición basal de estípite de palma de aceite en Malasia. *Palmas*, 16 (Número especial), 233-251.
- Toh Choon R. L., Sariah M. & Mariam Siti M.N. (2012). Ergosterol from the soilborne fungus *Ganoderma boninense*. *Journal of Basic Microbiology*, 52, 608-612.
- Tovar, J. y L. Nieto. (1998). Caracterización de las principales pudriciones de estípite de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq), en la Zona Norte de Colombia. *Palmas*, 19(2), 45-52.
- Utomo, C. & Niepold, F. (2000). Development of diagnostic methods for detecting *Ganoderma*-infected in oil palms. *J. Phytopathology*, 148, 507-514.