Hallazgos y avances sobre *Ganoderma* en palma de aceite*

Findings and Advances on *Ganoderma* in Oil Palm

AUTORES: Tristan Durand-Gasselin[1], Nicolas Turnbull[1], Hubert de Franqueville[1], Fréderic Breton[2], Indra Syahputra[3] and Benoit Cochard[1].

CITACIÓN: Durand-Gasselin, T., Turnbull, N., de Franqueville, H., Breton, F., Syahputra, I., & Cochard, B. Hallazgos y avances sobre *Ganoderma* en palma de aceite. *Palmas, 37*(Especial Tomo I), pp. 63-86.

PALABRAS CLAVE: detección, *Ganoderma boninense,* material de siembra, palma de aceite, Pudrición basal del estípite, resistencia parcial, selección.

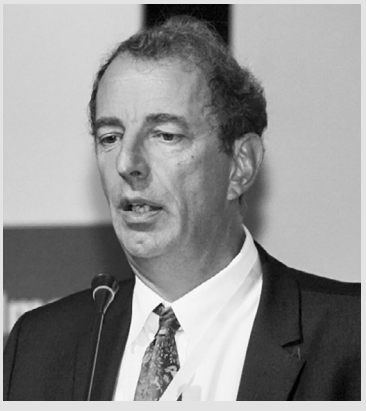
KEYWORDS: Detection, *Ganoderma boninense*, planting material, palm oil, Basal stem rot, partial resistance, selection.

*Artículo original recibido en inglés y traducido por Strong Tower Consulting.

[1] PalmElit SAS, Bat 14, Parc Agropolis, 2214 Bd de la Lironde, 34980 Montferrier sur Lez, France.

[2] CIRAD, UMR 108-AGAP Avenue Agropolis, 34398 Montpellier, Cedex 5 France.

[3] P. T. SOCFINDO INDONESIA-Jl.K.L. Yos Sudarso N°106, Medan 20115 , Indonesia.



Tristan Durand-Gasselin
Director Ejecutivo, PalmElit S.A.S.
CEO of PalmElit S.A.S.
tristan.durand-gasselin@palmelit.com

Resumen

Muchas plantaciones de palma de aceite sufren pérdidas considerables a causa de la enfermedad Pudrición basal del estípite, causada por *Ganoderma boninense*, un hongo telúrico que provoca daños letales al cultivo.

La taxonomía de *Ganoderma* es compleja, existen 400 nombres pero solamente de 100 a 150 especies. *Ganoderma* es un patógeno del roble, el arce, el sicomoro, la areca, la acacia, la palma de aceite, entre otros. Existe un consenso para afirmar que *G. zonatum* y *G. boninense* están relacionadas a la palma. Prácticas culturales y un manejo agronómico y fitosanitario pueden reducir el impacto de esta enfermedad. Esto debe ir de la mano con la utilización de materiales de siembra resistentes, aun parcialmente, a *G. boninense*. En este artículo se discutirá la importancia de la distancia entre la palma y el bulbo de la palma de la anterior generación, transporte, zanjas, eliminación de los cuerpos fructíferos, montículos y preparación de la tierra.

La resistencia genética total de las plantas a dicho hongo no ha sido reportada aún, pero se han observado varios ejemplos de resistencias parciales que incluyen la palma de aceite.

Se ha desarrollado una metodología para hacer una detección sistemática de la resistencia parcial a *G. boninense* del material de siembra de la palma de aceite en la etapa de previvero. Esta metodología, altamente reproducible y consistente, permite a los mejoradores desarrollar una tipificación fenotípica de alto rendimiento. Nuestro grupo de investigación confirmó inicialmente la ausencia de interacción entre cepas de *G. boninense* y progenies de palma de aceite probadas. Se ha destacado que prevalece la varianza aditiva. A partir de esta base se ha decidido estandarizar la metodología utilizando probadores.

Desde hace mucho tiempo, el material Deli puro se reconoce por su alta susceptibilidad a la Pudrición basal del estípite. Por esta razón se dio particular énfasis a los orígenes Deli de prueba. Al mismo tiempo fueron cuidadosamente evaluadas las pruebas de mejoramiento de campo, los jardines de semilla, los jardines parentales y las pruebas de progenie. Se seleccionaron cuatro orígenes Deli que muestran una resistencia parcial tanto en campo como en pruebas de detección temprana.

Se evaluaron los orígenes del grupo B (*pisifera*) principalmente de orígenes La Mé y Yangambi. La mayoría de las fuentes de resistencia se encontraron en el material La Mé. Se seleccionó el origen más resistente. Finalmente, se confirmó que los cruzamientos entre los Deli SIB y los orígenes La Mé seleccionados tienen una alta resistencia en comparación con el material no seleccionado.

Este trabajo nos permitió lanzar una variedad de palma de aceite que presenta, a la fecha, la mejor resistencia parcial posible a la enfermedad de la Pudrición basal del estípite causada por *Ganoderma boninense*.

Abstract

Many oil palm plantations experience considerable losses mainly due to Basal stem rot disease, caused by *Ganoderma boninense,* a telluric fungus which provokes lethal damages to the crop.

Taxonomy of *Ganoderma* is confuse, 400 names but only 100 to 150 species. *Ganoderma* is a pathogen for Oak, Maple, Sycamore, Areca, Acacia... and Oil Palm. A consensus exists to say that *G. zonatum* and *G. boninense* are related to palms. Cultural practices, agronomic and phytosanitary management can reduce the impact of the disease. It should come along with the use of planting materials which are resistant, even partially, to *G. boninense.* The usefulness of distance to the palm of previous generation, under planting, shipping, trenches, elimination of fruiting bodies, mounding and land preparation will be discussed.

Total genetic resistance of plants to such fungus has not yet been reported, but many examples of partial resistances have been observed including for oil palm.

A methodology has been developed to systematically screen oil palm planting material for its partial resistance to *G. boninense* in pre-nursery. This methology, which is highly reproducible and consistent, allows breeders to develop as a routine a relatively high-throughput phenotyping. Our research group has first confirmed the absence of interaction between G. boninense isolates and tested oil palm progenies. The prevailing of additive variance has been highlighted. From this founding it has been decided to standardize the methodology by using early detection tests.

Since a long time, pure Deli material is well known for its relatively high susceptibility to Basal stem rot disease. Therefore emphasis was given to test Deli origins. At the same time existing breeding field, seed garden, parental garden and progeny tests, were carefully observed. Four Deli origins which show partial resistance both in field and in early screening test were selected.

B group origins (*pisifera*) were evaluated mainly from La Mé and Yangambi origins. Most of the resistance sources were found in La Mé material. The most resistant origin was selected. At last crosses between the selected Deli SIB crosses and the La Mé selected origin were confirmed, to be highly resistant as compared to non selected material.

This work allowed us to launch an oil palm variety which presents, to date, the best possible partial resistance to Basal stem rot disease caused by *Ganoderma boninense.*

Introducción

Este estudio resume una parte del conocimiento de la especie *Ganoderma* y presenta una actualización de una charla realizada durante la Conferencia Internacional sobre la Palma de Aceite (International Oil Palm Conference – IOPC) en Bali en el año 2014.

Quisiéramos dedicar este estudio a la memoria de Gerardo Martínez y Mauricio Herrera. Para mí hubiera sido un placer compartir y discutir con Gerardo, fitopatólogo de Cenipalma, las bases de este estudio y muchos otros temas, especialmente en relación con la Pudrición del cogollo.

Mauricio Herrera ha pasado a la palma de aceite su espíritu de esperanza, confianza en las investigaciones dedicadas, la impaciencia que nos lleva a dar lo mejor de nosotros mismos y, por último, su pasión por la palma.

La Pudrición basal del estípite (PBE) causada por *Ganoderma* sp. puede ocasionar pérdidas significativas, de hasta 80 % en las plantaciones del Sudeste Asiático, especialmente después de haber sido renovadas. (Susanto, 2009, Susanto and Huan, 2010) (Figura 1).

De hecho, el impacto de la PBE empeora a medida que aumenta la cantidad de generaciones de renovación; algunas plantaciones en Sumatra del Norte han llegado a su cuarta e incluso quinta generación. Mientras que la incidencia de la PBE en la escala de un país como Indonesia se había considerado como algo de menor importancia desde hace mucho tiempo, los cálculos más recientes muestran que se trata ahora de un problema mayor. Se estima que 10 % de las palmas han sido afectadas (Figura 2) y que si la tasa de infección sigue esta tendencia, la cifra podría duplicarse para el año 2035.

Figura 1. Campo de palma de aceite diezmado por *Ganoderma boninense* en el Sudeste Asiático (Sumatra del Norte).

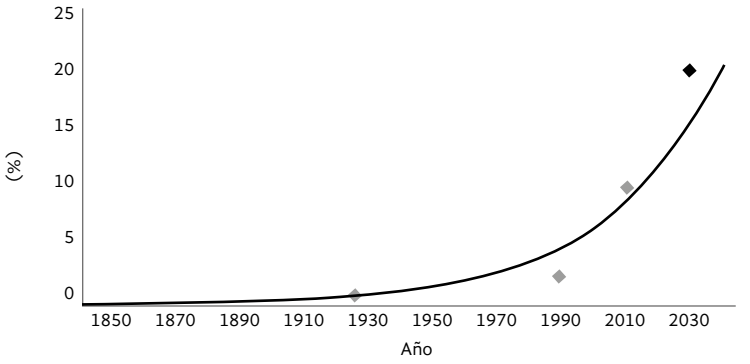


Figura 2. Predicción de la incidencia de *Ganoderma* en Indonesia.

En Colombia el porcentaje de infección por *Ganoderma* sigue siendo muy bajo, pero se han encontrado situaciones en algunas plantaciones, en donde 10 a 15% de las palmas han sido infectadas para el final de la primera generación. (Cenipalma, comunicación personal).

La especie predominante *G. boninense* parece ser la más agresiva (Cooper *et al.*, 2011), incluso si otros tipos de *Ganoderma* como *G. ryvardense* han sido mencionados (Kinge and Mih, 2011). *G. boninense* también puede causar una Pudrición superior del tallo (PST), la cual es mucho menos común que la Pudrición basal del estípite.

Esta enfermedad debe combatirse utilizando un manejo integrado mediante prácticas de cultivo (preparación de la tierra, eliminación de las palmas infectadas), control biológico (uso de organismos antagonistas como *Trichoderma* spp.), y resistencia genética.

Hemos conocido a través de observaciones de campo, en Indonesia, la evidencia de distintos comportamientos frente a *Ganoderma,* de un origen a otro. Esto confirma la existencia de variaciones genéticas dentro de la palma de aceite respecto de la resistencia a la PBE (de Franqueville *et al.,* 2001, Durand-Gasselin *et al.,* 2005). Estos resultados se emplearon para crear una prueba de detección temprana (Breton *et al.*, 2005, Breton *et al.,* 2009[a], Flood *et al.,* 2010) y para desarrollar una estrategia de selección para la resistencia. Los primeros resultados han sido publicados (Breton *et al.,* 2010a y b, Miranti *et al.*, 2010), mostrando una correlación bastante acertada entre las observaciones realizadas en el vivero y en campo.

Esta enfermedad también ocurre en África y ahora cada vez más en América Latina. En África, en donde también existe la marchitez por fusarium, causada por el *Fusarium oxysporum* f.sp. *elaeidis (Foe)* (Wardlaw, 1946, Fraselle, 1951), se han reportado plantaciones en donde la enfermedad se encuentra y están activas ambas enfermedades, desde hace varios años (de Franqueville and Diabaté, 2004). Recientemente la cantidad de sitios con ambas infecciones está aumentando, y deben buscarse variedades que tengan una resistencia parcial a ambas enfermedades.

Hasta ahora, la pudrición por *Ganoderma* en África ha infectado palmas de más de 30 años de edad. Por tanto, se consideraba una enfermedad oportunista. Sin embargo, en la actualidad está claro que en las áreas de renovación la enfermedad

Acerca de la resistencia y la tolerancia

Los patólogos y cultivadores hacen una distinción clara entre inmunidad, resistencia y susceptibilidad. De manera general, la inmunidad es específica, mientras que las resistencias son no específicas. Normalmente (no siempre), la inmunidad es el resultado de una interacción de gen a gen entre la planta y el patógeno. La resistencia de gen a gen es una forma de buscar resistencia a enfermedades ampliamente explotadas por los mejoradores de plantas. Sin embargo, una resistencia específica puede ser eludida por el patógeno; por tanto, en la palma de aceite, la cual es un cultivo perenne, no buscamos dichos mecanismos de defensa.

La estrategia de PalmElit busca la selección de varios genes de defensa involucrados en la resistencia (parcial). Esta selección fomentará y brindará una resistencia sostenible no específica a una mayor variedad de aislamientos de los patógenos, en vez de una resistencia específica. Es importante observar que, en consecuencia, la selección de plantas con resistencias parciales múltiples a enfermedades dará como resultado variedades que exhibirán algún síntoma de la enfermedad, pero que serán más eficientes en limitar la cantidad de estos.

Los agrónomos y cultivadores utilizarán la palabra "tolerante" en vez de "resistencias parciales múltiples" en la mayoría de los casos.

Alineados con la recomendación de la Federación Internacional de Semillas, los autores fomentan la clasificación de resistencia en distintos niveles: variedades altamente resistentes o de resistencia intermedia.

http://www.euroseeds.org/publications/esa_12.0605.pdf/view

puede ocurrir mucho más temprano, especialmente si las palmas jóvenes han sido sembradas demasiado cerca a los tejidos de bulbo de las palmas de generaciones anteriores. Este es el caso de una plantación en Camerún, en donde prácticas de cultivo demasiado pobres han contribuido al desarrollo de *Ganoderma* en una edad temprana.

Nuestra estrategia para desarrollar material de siembra parcialmente resistente a *Ganoderma* involucra varios pasos que se presentan aquí:

- Resaltar las diferencias de sensibilidad en campo
- Usar el método de detección temprana para hacer estudios detallados de las fuentes de resistencia
- Determinar la relación entre los resultados en el campo y los resultados de las pruebas tempranas

Taxonomía de la especie *Ganoderma*

Ganoderma es reconocido por ser un hongo saprofítico que aprovecha tejidos necróticos. Pero también puede ser patógeno y puede causar la pudrición blanca de la madera dura, en el roble, el arce, la areca (nuez de areca). La acacia y la palma de aceite también pueden ser infectados por *Ganoderma* (Seo y Kirk, 2000).

Los hongos de la familia *Ganodermataceae* son hongos basidiomicetos. Dada la amplia diversidad de color y forma de estos hongos, y dado que algunas especies de *Ganoderma* se utilizaban como remedios en la medicina china, la cantidad de nombres es de más de 400, con varios sinónimos (Figura 3).

Debido a los nombres dados por especialistas no taxónomos, la clasificación aún no es clara en algunas ocasiones. Se han hechos trabajos con isoenzimas (Gottlieb y Wright, 1999) y con marcadores de ADN, especialmente de ADN ribosomal (RAPD, ITS...) (Moncalvo *et al*., 1995). Recientemente Richter reportó una revisión de la taxonomía de *Ganoderma* (Richter *et al*., 2015).

Ganoderma luccidum y *Ganoderma boninense* son las especies que con mayor frecuencia están relacionadas con las palmas de aceite. Es interesante observar que, según Moncalvo, estas dos especies están estrechamente relacionadas (Figura 4, de Moncalvo, 2000).

Además de la diversidad de géneros entre especies, es pertinente estudiar la diversidad dentro de las especies. Mercière (Mercière *et al*., 2015) han desarrollado marcadores de Secuencias Simples Repetidas (Simple Sequence Repeats, SSR, por sus siglas en inglés) de *G. boninense* que permitirán hacer un estudio interesante en Asia, y una comparación con África y probablemente con América.

Sin esperar a tener estas herramientas, Pilotti ha efectuado estudios de la variabilidad genética del *Ganoderma* dentro de plantaciones utilizando RAPD. Ella concluye que la variación genética era alta incluso en parcelas pequeñas (Pilotti *et al*., 2003).

Figura 3. Diversidad de *Ganoderma*. Ejemplo de distintos basidiocarpos de *Ganoderma*.

○ : Relacionados con la palma de aceite.

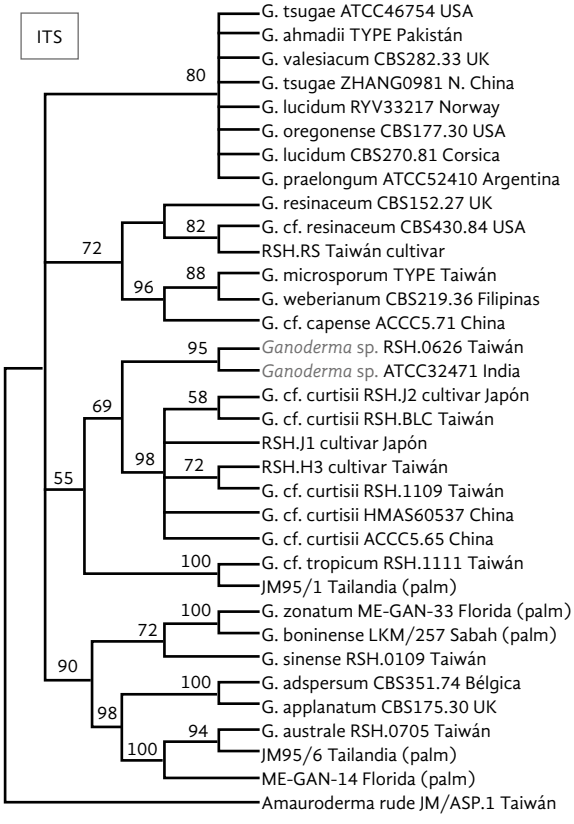


Figura 4. Taxonomía del *Ganodermataceae* utilizando espaciadores transcritos internos (ITS).

(Fuente: De Moncalvo, 2000).

Biología de *Ganoderma boninense*

El principal punto de importancia que debe tenerse en cuenta es el ciclo de vida de *Ganoderma boninense*, es un políporo que lleva basidiosporas de pared doble. Las esporas germinan y dan micelios monocarióticos. No todos los monocariontes pueden reproducirse para dar dicariontes, como la identificación de compatibilidad sexual requerida (Pilotti *et al.,* 2002).

Pilotti indica que este sistema podría ser una incompatibilidad bifactorial con un mecanismo tetrapolar, lo cual es consistente con la sexualidad de otras especies del género.

Es importante tener en cuenta la sexualidad de *Ganoderma*, la cual naturalmente puede explicar la alta variabilidad observada, pero también debe ser tomada en cuenta por genetistas que seleccionan el material resistente a *Ganoderma*. La coadaptación del material de siembra y el *Ganoderma* podría ocurrir después de cierto tiempo según la complejidad de las resistencias (parciales).

También es importante entender la manera en que ocurre la dispersión de *Ganoderma*. La infección de raíz a raíz se ha determinado hace mucho tiempo (Tuner, 1965), y ha sido confirmada por Flood (Flood *et al.*, 2000) utilizando palmas cebo; las palmas cebo fueron infectadas por la misma cepa de *Ganoderma* de la palma fuente (Figura 5).

Prácticas agrícolas

Cultivo anterior

Singh (1991) recolectando información de distintos lotes, ha enfatizado la importancia del cultivo anterior en el desarrollo de la infección de *Ganoderma*. Cuando el cultivo anterior es de palma de aceite o de coco, se puede observar una infección de hasta 50 % después de aproximadamente diez años. Es, de lejos, la peor situación en comparación con los bosques o el caucho (Figura 6: Desarrollo del porcentaje de infección de *Ganoderma* relacionada con la edad en

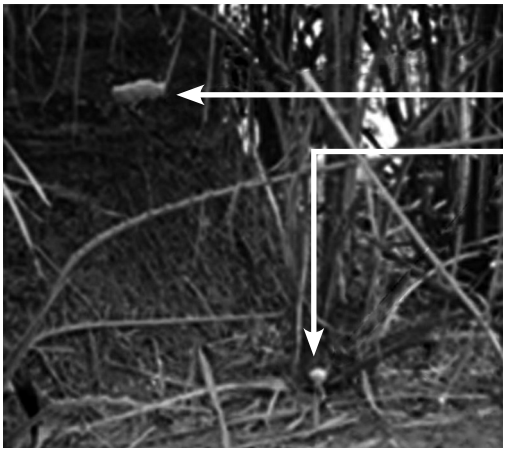


Figura 5. La palma adulta y las palmas cebo pueden ser infectadas por la misma cepa de *Ganoderma*.

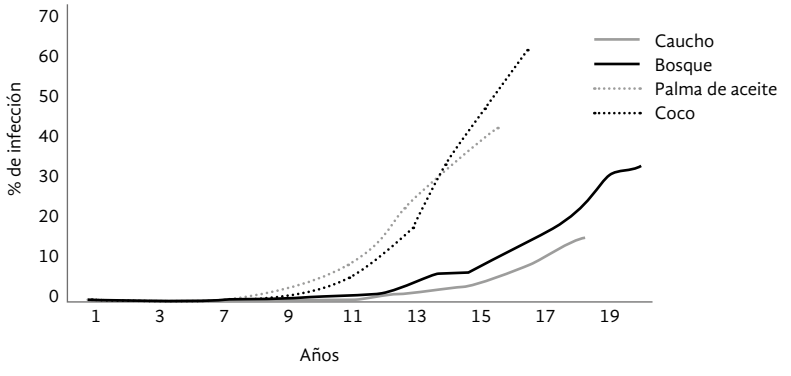


Figura 6. Desarrollo del porcentaje de infección de *Ganoderma* con la edad en distintos campos según el cultivo anterior.

(Adaptado de Singh, 1991).

distintos campos según el cultivo anterior). (Adaptado de Singh, 1991).

De esta observación se puede entender que el porcentaje de la infección de *Ganoderma* aumentará, generación tras generación, si no se utilizan prácticas agrícolas específicas o si no se siembra material resistente genéticamente.

Retirar la fuente del inóculo

Flood (Flood *et al.*, 2000) ha reportado un trabajo importante que estudia el efecto de retirar el suelo infectado para limitar la propagación de *Ganoderma* (Tabla 1 y Figura 7).

Tabla 1. Efecto de la intensidad en remover la fuente del inóculo (profundidad del bulbo) sobre la incidencia de *Ganoderma* en las palmas cebo. (Fuente: Flood *et al.,* 2000).

Estado del bulbo	Profundidad del bulbo	Porcentaje de plántulas cebo infectadas
Infectado (PBE)	0	75 %
Infectado (PBE)	20 cm	58 %
Infectado (PBE)	40 cm	28 %
Infectado (PBE)	60 cm	21 %
Infectado (PBE)	80 cm	0 %
Infectado (PBE)	100 cm	0 %
Control (sano)	60	0 %

Figura 7. El tamaño y la profundidad del bulbo retirado tienen una clara influencia sobre la propagación de *Ganoderma* en las palmas de cebo.

A partir de este estudio queda claro que la renovación se debe hacer lejos de la fuente de los inóculos (bulbo de raíces de una generación anterior).

Densidad de la plantación

Por alguna razón se puede tener la necesidad de cambiar la densidad de la plantación de una generación a otra.

A partir de la afirmación anterior según la cual "la renovación se debe hacer lejos de la fuente de los inóculos", se debe evitar cualquier cambio en la densidad de la plantación. Hubert de Franqueville ha ilustrado dicho cambio (Figura 8). Esto lleva a tener algunas palmas nuevas muy cerca al bulbo de raíces del ciclo anterior.

Prácticas agrícolas adicionales

Algunas prácticas agrícolas como el amontonamiento, cavar zanjas entre las palmas y retirar cuerpos frutescentes, han sido probadas y muestran distintos efectos. Podría ser de sentido común retirar palmas infectadas en una generación dada. La utilidad de dicha práctica no es clara. La Tabla 2 resume los resultados de distintas prácticas agrícolas.

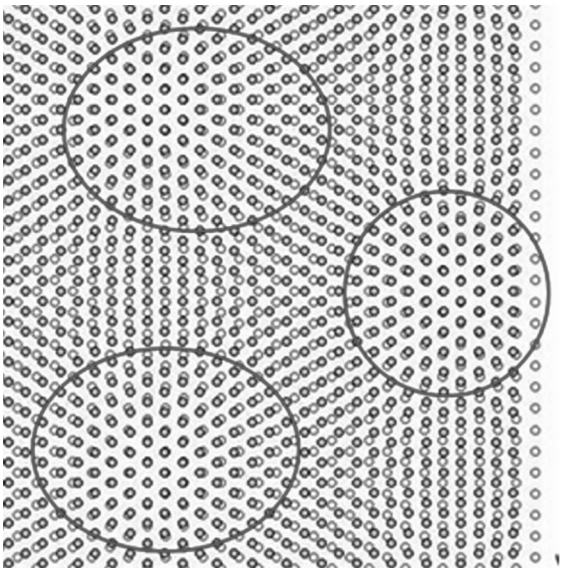


Figura 8. Efecto del cambio de densidad de 143 a 160 palmas por hectárea, en cuanto a la distancia entre las palmas nuevas y el bulbo de raíces anterior.

Tabla 2. Efecto de distintas prácticas agrícolas sobre la propagación de *Ganoderma* dentro de una plantación de palma de aceite.

Práctica	Efecto / Utilidad / Resultado
Saneamiento antes de replantar: • Remoción de bulbos de raíces	Sí
Distancia a la palma anterior	Sí
Saneamiento durante la generación	Probablemente sí
Remoción de basidiocarpos	Probablemente no
Zanjas	No
Amontonamiento	Sí durante algunos meses

Evidencia principal de la resistencia en campo

La evidencia principal de las diferencias en la susceptibilidad a *Ganoderma* en distintos orígenes genéticos de la palma de aceite fue presentada por primera vez a la comunidad científica en 2001 (De Franqueville *et al*., 2001), y nuevamente en 2005 (Durand-Gasselin *et al*., 2005). A continuación se presenta un resumen de los puntos principales.

Deli es susceptible de manera general

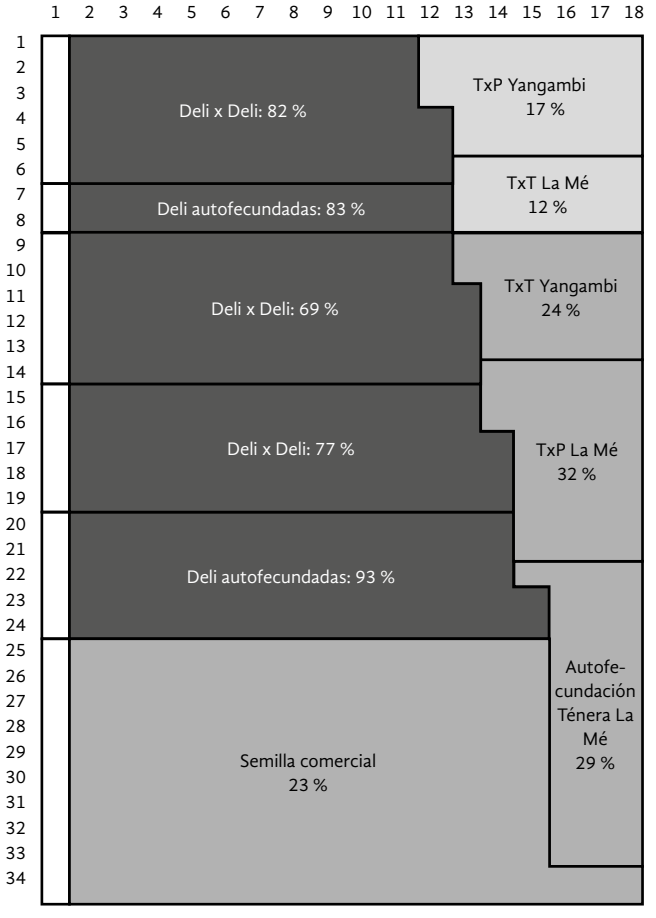
Entre los orígenes de *E.guineensis*, Akbar (1971) fue el primero en reportar la alta susceptibilidad del material comercial Deli puro a la PBE, en comparación con el material Deli x Yangambi (Tabla 3) en plantaciones de P.T. Socfindo (Mata Pao y Tanah Gambus, Indonesia).

De Franqueville reportó otro ejemplo (De Franqueville *et al.,* 2001) utilizando observaciones de material de siembra Deli puro, La Mé puro y material parental puro de Yangambi del Bloque 60 en la plantación Bangun Bandar (P.T. Socfindo) (Figura 9). A pesar de la falta de diseño estadístico, es bastante obvio que los orígenes Deli son altamente susceptibles a *Ganoderma;* de igual manera, los orígenes La Mé o Yangambi son parcialmente resistentes; los orígenes Deli sufren una pérdida de palmas de casi 80 %, mientras que los orígenes La Mé y Yangambi sufren pérdidas en promedio de 23,5 %.

Tabla 3. Observación de la incidencia de PBE en las plantaciones comerciales de Socfindo en 1970. Fuente: Akbar *et al.,* 1971.

Terreno	Bloque	Año de siembra	Tipo de material	% de PBE
Mata Pao	2	1958	Deli x Deli	74
	3	1955	Deli x Deli	61
	4	1955	Deli x Deli	60
	5	1955	Deli x Deli	73
	13	1958	Deli x Yangambi	16
	18	1958	Deli x Yangambi	25
Tanah Gambus	32	1957	Deli x Deli	33
	33	1957	Deli x Deli	24
	47	1957	Deli x Yangambi	13
	53	1957	Deli x Yangambi	12

Figura 9. Bloque 60: La tasa de PBE depende de la localización del material parental dentro del campo.



Variabilidad dentro de los orígenes

De Franqueville ha observado además un grado de variabilidad en la respuesta de los cruzamientos La Mé en este bloque, con pérdidas entre 12,4 % y 40,9 %. Esto sugiere que existe una enorme variabilidad dentro del origen (una diferencia de 3 a 4 veces), lo cual amerita ser tomado en cuenta por parte de los mejoradores.

También se identificaron variaciones dentro de los materiales Deli. Varios orígenes Deli se cruzaron con el mismo origen La Mé (LM2T autofecundado) y fueron sembrados en dos pruebas (BB GT 11 D y BB GT 17). Se observaron diferencias muy significativas (Tabla 4). Al considerar Deli 2 como un puente entre las dos pruebas, Deli 4 parece ser muy susceptible y Deli 3 parece ser la menos susceptible entre los orígenes Deli.

El mismo autor también señaló la consistencia de estos resultados en otras pruebas (BBCL 2, BBCL 3, BBGT 1A y BBGT 28): el origen Deli 3 estuvo siempre entre los materiales menos susceptibles.

Como ejemplo, los últimos resultados del BBGT 28 se indican en la Tabla 5: el Deli 3 parece ser el menos susceptible entre los orígenes Deli, así como el LM 1 en el origen La Mé. Este origen del grupo B podría brindar una resistencia parcial adicional.

Detección del material de siembra utilizando la prueba de vivero

Prueba de detección temprana (prueba de vivero)

CIRAD desarrolló un método de inoculación en colaboración con dos socios privados (P.T Socfindo y P.T Lonsum) entre 2002 y 2008 en Indonesia (Breton *et al.,* 2009 a y b). En la actualidad se emplea este método para hacer una evaluación temprana de la resistencia a *Ganoderma* de varias progenies de palma de aceite (Figuras 10 y 11).

Tabla 4. Observación de la incidencia de la PBE en dos pruebas (BBGT 11D y BBGT 17), comparando los materiales comerciales de siembra agrupados en categorías.

Prueba	Origen genético de los parentales, Deli dura	Origen genético de los parentales masculinos	% de PBE	Grupo estadístico (Estudio)
BBGT11D (siembra 1981)	Deli 1	LM2T Autofecundado (LM)	43,6	a
	Deli 2	LM2T Autofecundado (LM)	42,7	a
	Deli 3	LM2T Autofecundado (LM)	22,0	b
BBGT17 (siembra1984)	Deli 4	LM2T Autofecundado (LM)	34,7	a
	Deli 5	LM2T Autofecundado (LM)	27,9	b
	Deli 6	LM2T Autofecundado (LM)	20,7	c
	Deli 2	LM2T Autofecundado (LM)	19,2	c

Tabla 5. Respuesta a la PBE de los distintos orígenes La Mé y Yangambi al ser cruzados con distintos orígenes Deli la prueba BBGT 28. (Finca Bangun Bandar, siembra de 1986, observación en 2010). Durand-Gasselin *et al.* (2005) brinda más detalles al respecto.

Orígenes	LM 1	LM 2	LM 3	Yg 1	Total
Deli 7			53,3	32,0	42,7
Deli 3	25,2	18,7	26,7	14,7	21,3
Deli 6		37,3	49,3		43,3
Deli 8	32,0	38,7	37,8	34,7	35,8
Deli 2	21,3		30,7		26,0
Total	26,2	31,6	39,6	27,1	32,3

Figura 10. Inducción de síntomas en una edad temprana utilizando inoculación artificial en el vivero.

Figura 11. Inducción de síntomas en una edad temprana utilizando inoculación artificial en el vivero.

La investigación y desarrollo del inóculo y el ambiente que permiten la infección fue un proceso bastante complejo que requirió varios años de estudio en los distintos parámetros de crecimiento. Nuestra meta era crear una prueba que fuera reproducible, con alta eficacia y lo más rápida posible, para hacer una selección en las palmas de aceite. Después de efectuar pruebas a una amplia gama de sustratos de crecimiento y métodos de inoculación, quedó claro que los bloques de madera de caucho (BMC) colonizados con *Ganoderma*, un método descrito por Idris inicialmente (Idris, 2006), son el mejor procedimiento que puede utilizarse. Estos bloques de madera deben ser lo más pequeño posible, de manera que puedan disponerse dentro de las bolsas de polietileno del vivero antes de sembrar las plántulas. En la actualidad se han probado 100 progenies, con 100 plántulas al mes cada una. Los resultados estarán disponibles en unos meses.

Dichos resultados, por lo general, se expresan como un porcentaje de las palmas afectadas por *Ganoderma* o que este ha matado, sin considerar la escala de severidad de los síntomas. Se hicieron análisis estadísticos después de una transformación logarítmica de los datos observados: $X = \ln (p/(1-p))$, en donde p = (cantidad de palmas infectadas / cantidad de palmas observadas).

Los resultados se emplearon para atribuir un índice a los cruzamientos en cada prueba. Este índice es similar al utilizado para interpretar los resultados de las pruebas de resistencia temprana a la marchitez vascular en África Occidental (Renard *et al*., 1991, De Franqueville *et al.,* 1995). Dicho índice corresponde a la proporción de PBE expresada por cruzamiento y la media del ensayo en el que figura. Por definición, el índice de la media de esta prueba es de 100. Un cruce es más resistente cuanto más bajo es su índice (o cuando es menos susceptible que la media de los cruzamientos sometidos a pruebas), y más susceptible cuanto más alto es su índice. Al clasificar los cruzamientos entre sí y centrarlos en la media de cada prueba, el índice permite comparaciones globales y hace posible establecer un rango de susceptibilidad de manera rápida y clara.

Además se desarrolló una escala de referencia que utiliza un conjunto fijo de cruzamientos de control, para utilizarla en cada tamizaje. Esta representa un rango de resistencia y susceptibilidad que permite conectar todas las pruebas entre sí. Los resultados se ajustan por la varianza residual observada en el grupo de referencia.

Interacciones entre cepas de *Ganoderma* y progenies de palma de aceite

También es importante verificar que no haya una interacción significativa entre los aislamientos de *Ganoderma* y las progenies de palma de aceite sometidas a las pruebas. Para este fin, efectuamos pruebas con regularidad utilizando un rango de aislamientos y progenies; la Tabla 6 muestra los resultados para cada par de aislamientos por progenie; corresponden a la media de 41 ensayos cada uno, en donde están involucradas 100 plántulas (5 repeticiones de 20 plantas). A pesar de los esfuerzos hechos para alcanzar una máxima estandarización de la prueba, la precisión de cada dato sigue siendo débil, con un intervalo de confianza de 95 % de ± 5 puntos porcentuales. Por consiguiente, el análisis estadístico muestra que la interacción aislamiento x progenie es efectivamente significativa, pero su nivel es demasiado bajo en comparación con el efecto de la progenie o el efecto de los aislamientos. La consecuencia de esta interacción débil es que la clasificación de las progenies sometidas a pruebas no se ve afectada, tomando en cuenta la imprecisión de las pruebas y cualquiera que sea el aislamiento (Tabla 7). Sobra decir que los aislamientos menos agresivos (aislamiento 5), no son suficientemente discriminatorios, debido a la incapacidad de diferenciar los cruzamientos más resistentes. Breton (Breton *et al.*, 2010) demostró que la máxima efectividad de una prueba se alcanza cuando el porcentaje de palmas infectadas es aproximadamente 30 %.

Transmisión genética aditiva de resistencia a *Ganoderma*

Durante toda la etapa de desarrollo se utilizó una amplia gama de cruzamientos comerciales; pudimos identificar subconjuntos para visualizar el diseño factorial. La Tabla 8 es un resumen de un subconjunto de 368 cruzamientos que representan 37.000 plántulas. Estos datos validan la hipótesis de una transmisión principalmente aditiva de la resistencia a *Ganoderma*.

Tabla 6. Estudio de la interacción aislamiento x progenie. Resultados observados 24 semanas después de la inoculación, expresado como porcentaje de plántulas infectadas.

	Progenie 1	Progenie 2	Progenie 3	Progenie 4	Progenie 5	Progenie 6	Aislamiento promedio
Aislamiento 1	27,3	41,3	32,8	33,5	38,0	21,8	32,4
Aislamiento 2	48,8	55,5	62,3	61,3	52,0	41,5	53,5
Aislamiento 3	12,0	30,8	24,5	30,8	20,0	14,3	22,0
Aislamiento 4	30,3	39,8	38,5	45,0	37,1	26,8	36,2
Aislamiento 5	6,3	18,5	21,0	11,8	13,8	6,8	13,0
Progenie promedio	24,9	37,2	35,8	36,5	32,2	22,2	31,4

Tabla 7. Estudio de la interacción aislamiento x progenie. Resultados observados después de 24 semanas desde la inoculación. Expresado en orden como una clasificación.

	Progenie 1	Progenie 2	Progenie 3	Progenie 4	Progenie 5	Progenie 6
Aislamiento 1	2	6	3	4	5	1
Aislamiento 2	2	4	6	5	3	1
Aislamiento 3	1	5	4	5	3	2
Aislamiento 4	2	5	4	6	3	1
Aislamiento 5	1	5	6	3	4	2

Tabla 8. Índice observado de un conjunto de cruzamientos utilizados en un diseño factorial. Este reagrupa cinco orígenes del Grupo A y cinco orígenes del Grupo B.

	Origen Yangambi A y A'	Origen Yangambi B	Origen La Mé A	Origen La Mé B	Origen La Mé C	Promedio
Origen Deli A	**125** (18 cr, 22 pruebas)	**117** (8 cr, 8 pruebas)	**97** (10 cr, 11 pruebas)	**115** (15 cr, 15 pruebas)	**118** (12 cr, 12 pruebas)	**114** susceptible
Origen Deli B	**107** (8 cr, 8 pruebas)	**107** (4 cr, 8 pruebas)	**90** (5 cr, 5 pruebas)	**122** (12 cr, 12 pruebas)	**86** (13 cr, 16 pruebas)	**102** intermedio a resistente
Origen Deli C	**105** (5 cr, 10 pruebas)	**129** (5 cr, 5 pruebas)	**95** (5 cr, 13 pruebas)	---	**107** (4 cr, 8 pruebas)	**109** susceptible a intermedio
Origen Deli D	**139** (5 cr, 11 pruebas)	**122** (5 cr, 10 pruebas)	**86** (10 cr, 20 pruebas)	**102** (5 cr, 9 pruebas)	**103** (8 cr, 13 pruebas)	**110** susceptible a intermedio
Origen Deli E	**109** (43 cr, 58 pruebas)	**114** (6 cr, 13 pruebas)	**82** (28 cr, 36 pruebas)	**99** (18 cr, 22 pruebas)	**88** (17 cr, 23 pruebas)	**98** intermedio a resistente
Promedio	**117** Susceptible (A' al menos)	**118** Susceptible	**90** Resistente	**109** Susceptible a intermedio	**102** Intermedio	

El uso de cruzamientos de prueba

Conjunto de probadores

Los resultados anteriores nos convencieron para definir un grupo de palmas de referencia que se utilizaría para ser cruzado con los parentales probados. El estudio de variaciones de resistencia y susceptibilidad entre uno y otro podría entonces ser posible. Para realizar pruebas a los parentales del grupo A, principalmente Deli, seleccionamos un grupo de *pisiferas* provenientes de dos progenies: una susceptible y la otra con una resistencia intermedia a *Ganoderma*. Por el contrario, los parentales del grupo B fueron sometidos a pruebas utilizando un grupo de duras Deli provenientes de dos progenies susceptibles, y con resistencia intermedia. Los probadores fueron verificados en un diseño factorial para cruzar el grupo A y el grupo B, de dos en dos. Esperábamos un índice medio dentro del intervalo [105,107] (Tabla 9).

Nuevamente, podemos observar en estos resultados la aditividad de la transmisión genética de la resistencia a *Ganoderma*. Los cruzamientos realizados con los probadores susceptibles mostraron 50 % más de infección que los realizados con probadores que tenían resistencia intermedia.

Tabla 9. Resultados de los cruces del diseño factorial con ambos grupos A y B. Índice (cantidad de pruebas < 100 – cantidad de pruebas > 100).

Probadores	Probador Yangambi (S)	Probador La Mé (I)	Promedio
Probador Deli I	99 (10-9)	82 (19-6)	90
Probador Deli S	123 (3-28)	107 (5-5)	115
Promedio	111	95	103

Principales resultados de la evaluación de cruzamientos de prueba

Se usaron los cruzamientos probadores para seleccionar varias fuentes de resistencia dentro de cada origen. Desde el inicio del proceso de detección evaluamos 5.100 cruces; 3.066 de ellos fueron analizados por cruzamiento de prueba. Se hizo énfasis particular en el grupo A (2.054), ya que hay menos fuentes de resistencia presentes. Sin embargo, la cantidad de cruzamientos de prueba analizados para el grupo B sigue siendo importante (1.012).

Nuestra meta es evaluar la resistencia a *Ganoderma* en cada familia, disponible en la actualidad, dentro de nuestros programas de selección. Se seleccionaron aleatoriamente diez palmas de cada familia para ser cruzadas con ambos tipos de probadores; cada cruce realizado se somete a pruebas dos veces como mínimo, para tener así 20 datos por cada familia. A continuación presentamos el índice promedio de cada familia probada al menos cinco veces.

Grupo B. Para cada origen genético proveniente de LM2T (La Mé) o LM718T x LM238Y (Yangambi), más de una familia pudo haber sido sometida a pruebas. La Figura 12 muestra cada origen representado por 1 y hasta 7 familias.

Los tres orígenes Yangambi con los que trabajamos son, en promedio, mucho más susceptibles que los orígenes La Mé. A menudo cuando un rasgo no está fijado aún en las poblaciones de palma de aceite, la diversidad de la resistencia se puede encontrar en una agrupación genética. Los orígenes La Mé, provenientes en su mayoría de tres palmas hermanas, cubren la mayor parte del rango de susceptibilidad.

Grupo A. El grupo A incluye principalmente distintos orígenes de Deli y un solo origen de Deli x Angola llamado 'Angola' en la Figura 13. En la manera en que ambos grupos fueron interpretados y analizados, ambos grupos están centrados alrededor de un índice de 100. Sin embargo, los orígenes Deli son, por lo general, más susceptibles que los orígenes del grupo B y las comparaciones solo pueden hacerse dentro de los grupos (A y B) y nunca entre ellos. Es claro que algunos orígenes Deli están mejor posicionados que otros (Figura 13).

Algunos orígenes Deli están representados por una progenie de gran cantidad (Deli D, F, I o M). A

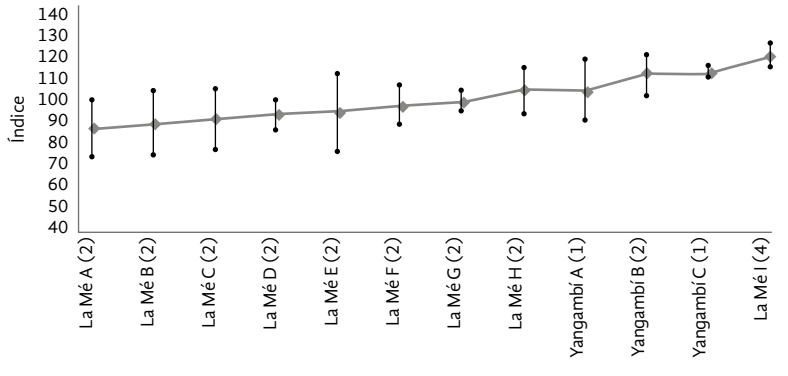


Figura 12. Índice estimado para distintos orígenes del grupo B. La cantidad de progenies dentro de cada origen aparece entre paréntesis.

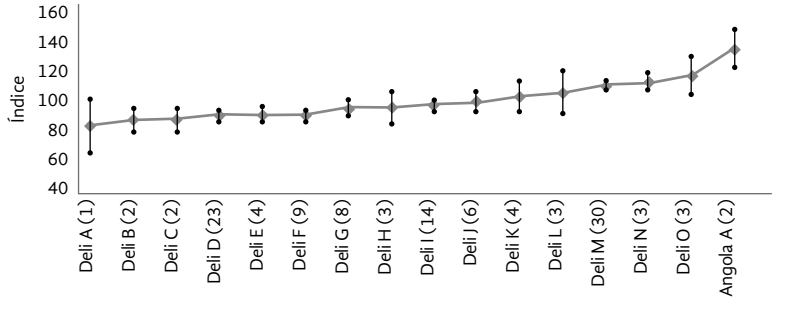


Figura 13. Índice estimado para distintos orígenes del grupo A. La cantidad de progenie dentro de cada origen se indica entre paréntesis.

continuación presentamos ilustraciones de la variabilidad dentro de cada origen Deli D, F e I

El origen Deli I es una recombinación entre dos palmas provenientes de un origen genético muy distinto, que muestra niveles opuestos de resistencia. En consecuencia, se puede observar una amplia variabilidad (385) con una brecha de 68 de índice, entre las dos progenies extremas. La varianza dentro de cada origen aumenta debido a la disyuntiva del rasgo, ocasionado por el cruce. (Figuras 14, 15 y 16).

El origen Deli D proviene de una primera generación de autofecundación, este muestra menos variaciones (148) y una brecha de 48 puntos del índice entre ambas progenies extremas. El origen Deli F proviene de una segunda generación de autofecundación, y lógicamente muestra la más baja variabilidad (48 puntos del índice) y la brecha más estrecha entre las progenies más extremas (21 puntos del índice). Este último origen muestra niveles de resistencia muy homogéneos.

Para aprovechar estos resultados, se debe tomar en cuenta la varianza de orígenes entre y dentro de ambos grupos. Pretendemos obtener más información al nivel de palmas individuales, especialmente para el grupo B, ya que se utiliza como parental masculino.

La información al nivel de familia también será importante, pero tomará más tiempo obtenerla debido a la cantidad de cruzamientos que se deben hacer.

Relación entre las pruebas en campo y en vivero

Los resultados de las pruebas de detección temprana deben estar validados por un comportamiento consistente en campo que pueda utilizarse de modo rutinario.

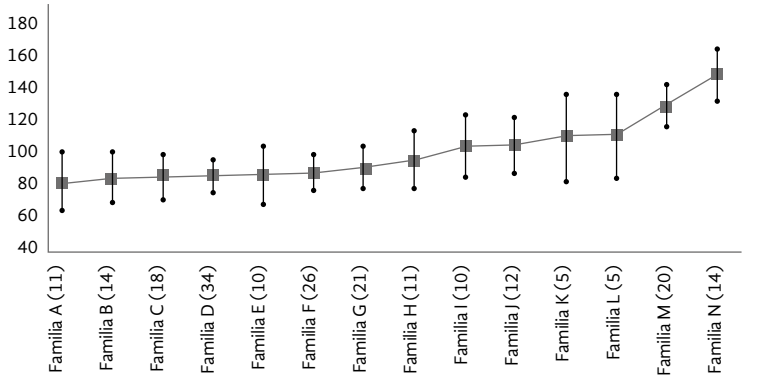


Figura 14. Índice estimado de 14 familias del origen Deli I. La cantidad de pruebas realizadas en cada familia se indica entre paréntesis.

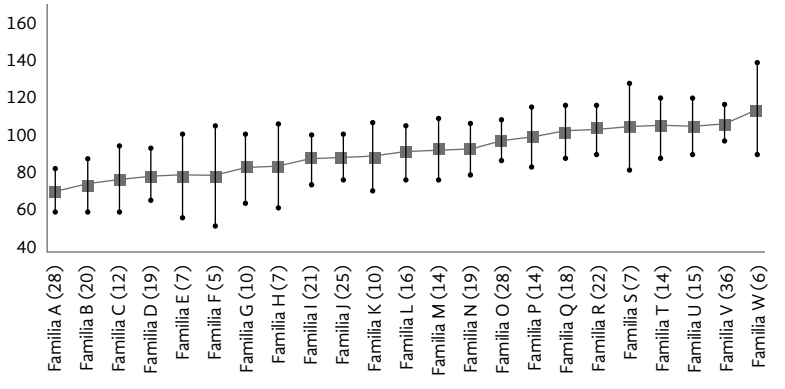


Figura 15. Índice estimado de 23 familias del origen Deli D. La cantidad de pruebas efectuadas para cada familia aparece entre paréntesis.

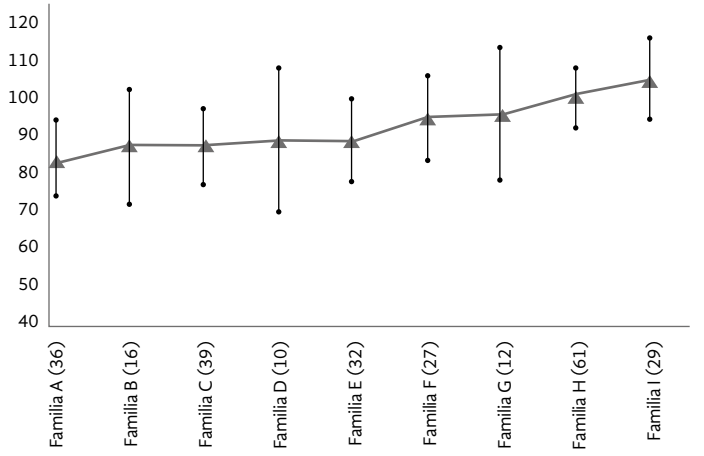


Figura 16. Índice estimado de 9 familias de origen Deli F. La cantidad de pruebas efectuadas para cada familia aparece entre paréntesis.

Para este fin, se sembraron ensayos entre 2002 y 2005 en áreas afectadas severamente con *Ganoderma***.** Tres ensayos, Gano 1, 2 y 3, fueron sembrados utilizando un diseño completamente al azar (1 planta por replicación). El área cubierta es de 310 hectáreas. El ensayo Gano 2 fue plantado en tres distintas zonas de P.T. Socfindo: Bangun Bandar, Mata Pao y Tanah Gambus.

Otro ensayo (Gano 4) fue plantado en 2009 para comparar el nivel de resistencia del material genético, pero también el efecto de la aleatoriedad total, en contraposición a la categoría monobloques de las siembras comerciales, que podrían aumentar la contaminación por *Ganoderma*. Estos cuatro ensayos incluyen casi toda la diversidad genética disponible en el programa de selección conjunta de P.T. Socfindo y PalmElit en Sumatra del Norte. La Tabla 10 muestra una visión más detallada de estos ensayos.

A finales de 2013 el ensayo Gano 1 fue el único que mostró suficientes síntomas para ser analizado (Tabla 11). Diez años después de la siembra, las fuentes de resistencia identificadas en la prueba de detección temprana obtuvieron también los mejores puntajes en campo.

Cuando los parentales de las familias más susceptibles de los grupos A y B fueron cruzados entre sí, la progenie resultante mostró 24 % de infecciones de *Ganoderma* en campo, estando el promedio de prueba en 11 %. Por otro lado, cuando los parentales de las familias más resistentes de los grupos A y B fueron cruzados, la progenie resultante mostró 5 % de infecciones de *Ganoderma*.

Los resultados son similares a los observados en el bloque genético sembrado en Aek Loba Timur. Este bloque se sembró entre 1995 y 2001 para evaluar y calcular la capacidad de aptitud combinatoria general (ACG) de varios parentales que se emplean en la producción de semillas (480 cruzamientos con 72 plantas evaluadas). Los síntomas de *Ganoderma* se registran anualmente en estas pruebas, o donde podría efectuarse un análisis de ACG para la resistencia a *Ganoderma*. También, el análisis por padre no mostró resultados

Tabla 10. Ensayos de *Ganoderma* sembrados en campo entre 2002 y 2009 con el porcentaje de infección observado a finales de 2013.

Ensayo	Diseño	Cantidad de plantas / cruces			Hectáreas	Plantación	Porcentaje de *Ganoderma*	
		BB	TG	MP	(ha)	Fecha	Generación anterior	2013
Ganoderma 1	1 x 1	98	--	--	40	2002/3	30 %	10,8
Ganoderma 2	1 x 1	50	50	50	261	2003/4/5	30 a 50 %	2,1
Ganoderma 3	1 x 1	50			8	2003	30 %	7,2
Ganoderma 4	diversos	76			120	2009	> 50%	0,0

BB: Bangun Bandar; TG: Tanah Gambus; MP: Mata Pao.

Tabla 11. Observación de la incidencia de *Ganoderma* (%) en el ensayo Gano 1 a los diez años de sembradas. La cantidad total de plantas observadas se muestra entre paréntesis.

Orígenes	Deli x La Mé	La Mé A	Yangambi IRHO A	La Mé B	Nigeria A	Nigeria B	Yangambi Socfin A	Promedio (No. de palmas)
Deli Dabou A		18,0	10,4		8,0		4,0	10,1 (200)
Deli Dabou B		0,0	16,7			10,0	6,0	9,9 (300)
Deli Dabou C	14,6	7,3	9,1	8,3	12,1		10,2	10,1 (900)
Deli Dabou D	15,3	7,4	6,3	3,4	4,8	9,1	8,0	7,2 (1.000)
Deli Dabou E	31,3	8,3	12,9	13,2	16,3	22,9	13,1	14,7 (1.150)
Deli Nifor A						17,6	6,0	14,7 (200)
Deli Nifor B	22,0	9,0	9,0	4,0	13,0	16,0	10,3	11,3 (550)
Deli Socfindo A	16,7	2,1	0,0		12,5	13,4	5,0	8,5 (400)
Deli Socfindo B		6,2	14,6		15,0		12,5	11,3 (400)
Promedio (No. de palmas)	19,2 (300)	7,4 (800)	10,3 (1100)	7,0 (350)	12,0 (850)	15,0 (600)	9,7 (1.100)	10,8 (5.100)

significativos debido a la baja presión de *Ganoderma*; la reagrupación de los datos por clases desde los más susceptibles a los más resistentes y por origen A y B dio como resultado una visión mucho mejor. Se crearon cinco clases distintas con los distintos parentales A y B y se les asignó un puntaje: de -2 para los más susceptibles, a +2 para los más resistentes. Luego se calculó la infección promedio por tipo de cruce; los cruzamientos entre parentales resistentes mostraron una infección de *Ganoderma* inferior a 5 % en campo (Tabla 12).

Caracterización del material de siembra de resistencia intermedia

Utilizando los hallazgos y los resultados anteriores, parece posible desarrollar un material de siembra con buena resistencia y ponerlo a disposición de los cultivadores. Sin embargo, sería un material parcialmente resistente, pero reduciría significativamente los niveles de *Ganoderma* en campo, en comparación con los materiales comerciales actuales.

Tabla 12. Porcentaje promedio de infección de *Ganoderma* para todos los cruzamientos (480) sembrados en el bloque genético de Aek Loba Timur con base en la clasificación de los parentales. Los parentales se clasifican de -2 a +2, según los valores de ACG de la resistencia a *Ganoderma*. Los cruzamientos con un buen comportamiento de resistencia se han resaltado con color gris.

	Clase del padre	Grupo B					Promedio
		-2	-1	0	+ 1	+2	
Grupo A	-2	17,1	8,3	18,9	15,2	5,8	15,3
	-1	12,9	--	13,4	8,6	7,1	10,9
	0	12,4	20,1	11,1	10,7	6,4	11,0
	+1	14,7	8,2	8,9	8,7	2,0	9,8
	+2	10,1	9,2	4,6	7,3	4,0	6,1
Promedio		13,3	15,9	10,9	10,4	5,5	10,7

Nuestra estrategia de seleccionar parentales para la producción de material con resistencia intermedia se basa en una verificación cruzada de la resistencia en la prueba de detección temprana y en el campo. La lista de progenies seleccionadas para la producción futura de semillas se muestra en la Tabla 13. Aquí se reagrupan las familias que tienen el mejor comportamiento en las pruebas de vivero, en las pruebas genéticas y en los jardines de semillas. Esta elección es muy conservadora y realizarla intencionalmente para evitar falsos positivos.

Dado que una gran mayoría de las *pisiferas* se originan de la familia La Mé A (Figura 12) solo se seleccionó esta familia para la producción de semillas.

El material comercial de siembra de resistencia intermedia a *Ganoderma* es el resultado de la combinación de parentales seleccionados de las familias Deli con parentales seleccionados de la familia La Mé A.

Este material de siembra ha sido evaluado en vivero en su forma original (sin el uso de cruzamientos de prueba). Para ello, los parentales tomados de familias seleccionadas provenientes de tres de los mejores orígenes Deli (Deli E, F e I) se cruzaron con parentales de la familia La Mé A. Las progenies resultantes mostraron índices muy bajos, confirmando sus niveles de resistencia estimados (Tabla 14).

Es importante resaltar que la resistencia genética, a pesar de su gran importancia, es solo un aspecto más del manejo integrado para combatir la enfermedad de *Ganoderma*. Como se mencionó antes, se debe combinar con buenas prácticas de cultivo (preparación de la tierra, eliminación de palmas infectadas) y el uso de control biológico, para lo cual los resultados son muy prometedores. De hecho, el uso de organismos antagónicos como *Trichoderma* spp. podría retrasar el desarrollo de la enfermedad durante algunos años. El uso de un espectro amplio de resistencia genética dentro de los mismos bloques de la plantación, también podría aumentar la eficiencia del manejo integrado de la enfermedad. Lo anterior está siendo sometido a pruebas en el ensayo Gano 4 sembrado en 2009, en donde una amplia diversidad de orígenes resistentes ha sido sembrada de manera completamente aleatoria.

Tabla 13. Comportamiento frente a la infección de *Ganoderma* (Índice) de los cinco orígenes Deli seleccionados (ver la Figura 13).

Origen	Número de familia seleccionada/Número de familia disponible	Prueba de detección		Prueba de progenie		Índice jardín de semillas (Grupo A)
		No. de pruebas	índice	No. de pruebas	índice	
Deli B	2/2	50	89	13	91	73
Deli I	6/14	116	84	26	83	77
Deli E	3/4	81	87	30	69	30
Deli C	1/2	22	84	8	84	61
Deli F	6/9	160	87	23	74	47

Tabla 14. Pruebas en vivero de la variedad comercial de resistencia intermedia a *Ganoderma*. Los resultados se dan en términos del índice medio y la cantidad de pruebas.

Origen grupo A	Origen Grupo B, La Mé A
Deli I x La Mé A	**85** (11 pruebas)
Deli F x La Mé A	**88** (7 pruebas)
Deli E x La Mé A	**71** (34 pruebas)

Impacto económico

Resulta útil calcular las ganancias que se pueden obtener al utilizar este tipo de material de siembra para renovar las áreas afectadas.

Para esta simulación, asumimos que la tierra ha sido debidamente preparada y que la siembra se ha hecho lo más lejos posible de los bulbos de las palmas anteriores. En esta situación, *Ganoderma* no debería ser un problema durante los primeros ocho años después de la siembra. De ahí en adelante, y según el tipo de material utilizado, una cierta cantidad de palmas morirá cada año por infección de *Ganoderma*. Esto se puede expresar como un porcentaje de las palmas restantes desde el año 'n-1' que morirán en el año 'n' (Figura 17). Los parámetros utilizados para esta simulación fueron adaptados para ajustarse a la realidad, tal como ocurre en el ensayo ALGP 3, sembrado en 1995 en Aek Loba en un bloque de renovación. Este ensayo incurrió en pérdidas de 20 % después de 15 años. Al enfocarnos en el material más susceptible, desde ocho años de edad y en adelante, la pérdida anual está alrededor del 7,25 % en las palmas restantes, mientras que este porcentaje se reduce a 3,5 % con el material normal, y a solo 1,5 % con el material de resistencia intermedia.

Utilizando estas predicciones pudimos calcular la producción acumulada por hectárea y las ganancias promedio esperadas de una generación de 25 años. Estos cálculos toman en cuenta la capacidad de las palmas circundantes para compensar hasta 50 % de la producción de una palma aledaña muerta (menor competencia por luz, agua y nutrientes). Esta regla se cumple solo en cierta medida; decidimos que esta era válida siempre y cuando el bloque tuviera menos de 20 % de palmas muertas. En estas condiciones, las ganancias esperadas por hectárea, expresadas en valor presente neto, son mayores en USD 4.000 cuando se utiliza material de resistencia intermedia, en comparación con el material normal. Estas ganancias son mayores y hasta en USD 13.000 si se compara con un material susceptible, lo cual es el caso de muchas variedades, que basan sus orígenes en Yangambi, Nigeria, o incluso La Mé no seleccionados, que se venden en el mercado actual (Figura 12, Tabla 11).

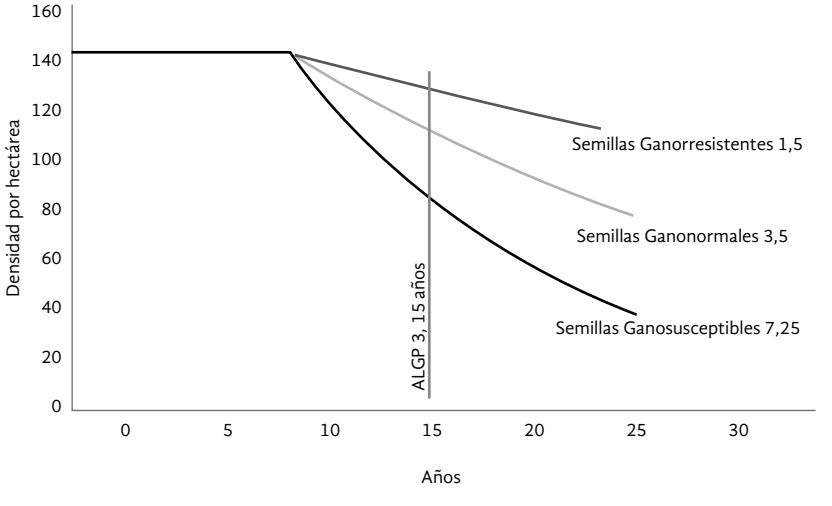


Figura 17. Simulación de pérdidas por *Ganoderma* según el tipo de material de siembra seleccionado. El material puede variar de susceptible a normal o de resistencia intermedia.

Tabla 15. Comparación de la producción de aceite acumulada, los resultados esperados acumulados y el valor presente neto por hectárea, de tres tipos de materiales de siembra. [Precio CPO: $ 800; tasa de descuento: 0,05].

25 años	Semillas gano-resistentes (1,5 %)	Semillas normales (3,5 %)	Semillas susceptibles (7,25 %)
Aceite acumulado /ha	176	161	131
Valor acumulado	140.878*	128.462	105.195
Valor presente neto	73.574	69.750	60.391

*USD, dólares americanos

Conclusiones

Ganoderma está presente en Asia y en África desde hace mucho tiempo. También ha empezado a infectar palmas en América. Aún no sabemos si las mismas especies de *Ganoderma* están en los tres continentes. Se han desarrollado nuevas herramientas que permitirán a los científicos responder pronto a esta pregunta.

Las prácticas agrícolas son de gran importancia para controlar *Ganoderma*, en especial el saneamiento (eliminación de palmas y retiro de residuos del lote) y la distancia entre los puntos de siembra con respecto a la siembra anterior, la cual debe ser la máxima posible.

Desde los años setenta, Akbar (1971) ha hecho énfasis sobre los altos niveles de susceptibilidad del material Deli. A la vez, la renovación de lotes antiguos de material con sangre 100 % Deli, sembrados con el material Deli x África redujo el impacto del *Ganoderma* e hizo que la atención de los cultivadores se enfocara en otros aspectos. Solo una generación después, a finales de los años noventa, los niveles de *Ganoderma* volvieron a aumentar en los lotes para volverse de nuevo una preocupación.

En el mismo momento, donde observamos grandes diferencias en la respuesta frente a *Ganoderma* en los distintos materiales de siembra de nuestros ensayos genéticos, empezamos a tener discusiones y a compartir nuestras opiniones iniciales acerca de estos hallazgos. Estas diferencias fueron aún más claras cuando se sembraron clones (De Franqueville, 2001).

El desarrollo de una prueba de detección de resistencia a *Ganoderma,* que pudiera hacerse en una etapa inicial, que fuera reproducible, que tuviera una alta eficiencia y que permitiera obtener resultados lo más rápidamente posible, requirió años de esfuerzo (Breton, 2009a).

Solo después de haber verificado la reproducibilidad de los resultados, la ausencia de interacción entre los aislamientos y genotipos, y la prevalencia de un efecto aditivo, pudimos utilizar esta prueba de rutina. El uso de probadores para comparar los distintos orígenes entre sí fue una mejora significativa y facilitó el trabajo de selección.

Por tanto, pudimos identificar las familias más resistentes dentro de cada grupo heterótico (grupos A y B), y desarrollar material comercial de resistencia intermedia, para ponerlo a disposición de los cultivadores. Este tipo de material traerá consigo una mejora en la productividad, especialmente para los cultivadores, que siembran en lotes de segunda generación o mayores.

Uno de los problemas principales que enfrentamos en la actualidad es saber si los resultados generados en Asia serán útiles y aplicables en África y en América. Se ha planeado establecer una unidad de detección en Camerún el próximo año para empezar a hacer pruebas empleando aislamientos de África. Asimismo, en la actualidad se está haciendo un estudio de la diversidad del patógeno y sus mecanismos de infección, en colaboración con el CIRAD.

Referencias bibliográficas

Akbar, U., Kusnady, M., Ollagnier, M. (1971). Influence de la nature du matériel végétal et de la nutrition minérale sur la pourriture sèche du tronc due à *Ganoderma*. *Oléagineux*, 26 (8-9): 527-534.

Breton, F., Hasan, Y., Hariadi, Lubis Z. and de Franqueville, H. (2005). Characterization of parameters for the development of an early screening test for Basal stem rot tolerance in oil palm progenies. In *Agriculture, biotechnology & sustainability conference, Proceedings of International Palm Oil Congress,* Eds. Malaysian Palm Oil Board, Kuala Lumpur, pp, 167-183.

Breton, F., Hasan, Y., Hariadi, Lubis Z. and de Franqueville, H. (2006). Characterization of parameters for the development of an early screening test for Basal stem rot tolerance in oil palm progenies. Journal of Oil Palm Research (Special Issue - April 2006), pp. 24-36.

Breton, F., R. Miranti, Z., Lubis, Z. Hayun, S., Umi, A., Flori, S.P.C. Nelson, T. Durand-Gasselin and H. de Franqueville (2009a). Early Screening Test: A Routine work to Evaluate Resistance/Susceptibility Level of Oil Palm Progenies to Basal stem rot Disease. Pipoc 9-12 November, Kuala Lumpur Convention Centre Malaysia.

Breton, F., Miranti, R., Lubis, Z., Hayun, Z., Umi, S., Flori, A., Nelson, S.P.C., Durand-Gasselin, T., Jacquemard, J.C., de Franqueville, H. (2009b). Implementation of an early artificial inoculation test to screen oil palm progenies for their level of resistance and hypothesis on natural infection: *Ganoderma* disease of the oil palm. 16th International Oil Palm Conference and Expopalma. Challenges in sustainable oil palm development, 22 to 25 September 2009, Cartagena de Indias, Colombia. International Oil Palm Conference and Expopalma. 16, 2009-09-22/2009-09-25.

Breton, F., Rahmaningsih, M., Lubis, Z., Syahputra, I., Setiawati, U., Flori, A., Sore, R., Jacque-mard, J.C., Cochard, B., Nelson, S., Durand-Gasselin, T. and de Franqueville, H. (2010). Evaluation of Resistance/Susceptibility Level of Oil Palm Progenies to Basal stem rot Disease by the Use of an Early Screening Test, Relation to Field Observations. Second International Seminar Oil Palm diseases - Advances in *Ganoderma* Research and Management. 30th of Mat 2010, Yogyakarta Indonésie.

Cooper, R. M., Flood, J., and Rees, R. W. (2011). *Ganoderma* boninense in Oil Palm Plantations. Current Thinking on Epidemiology, Resistance and Pathology. The Planter, Kuala Lumpur, 87 (1024): 515-526.

Durand-Gasselin, T., Asmady, H., Flori, A., Jacquemard, J.C., Hayun Zaelanie, H., Breton, F., de Franqueville, H. (2005). Possible sources of genetic resistance in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) to Basal stem rot caused by *Ganoderma boninense* - prospects for future breeding. *Mycopathologia*, 159 (1): 90-100.

Flood, J., Hasan, H., Turner, P.D., and O'Grady, E.B. (2000). The spread of *Ganoderma* from infective sources in the field and its implications for management of the disease in oil palm; J. Flood (ed.), P.D. Bridge (ed.) and M. Holderness (ed.) Cabi publishing, ©CAB international 2000.

Flood, J., Cooper, R., Rees, R., Potter, U., and Hasan, Y. (2010). Some Latest R&D on *Ganoderma* Diseases in Oil Palm.

Franqueville (de), H., Diabaté, S., Renard, J.L. (1995). Study of oil palm clone performance with respect to vascular wilt caused by Fusarium oxysporum f.sp. elaeidis. Results in early tests and replantings. In: Proceedings of the 1993 PORIM International Palm Oil Congress, Kuala Lumpur, Malaysia, 20-25 september 1993. Jalani Sukaimi (ed.), Arrifin Darus (ed.), Rajanaidu N. (ed.), Mohd Tayeb Dolmat (ed.), Paranjothy K. (ed.), Mohd Basri Wahid (ed.), Hensom I.E. (ed.), Chang Kwong Choong (ed), PORIM 1995: 684-688.

Franqueville (de), H., Asmady, H., Jacquemard, J. C., Hayun, Z., and Durand-Gasselin, T. (2001). Indications on sources of Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) genetic resistance and susceptibility to *Ganoderma* sp., the Cause of Basal stem rot. In: Cutting-Edge Technologies for sustained Competitiveness. Malaysian Palm Oil Board (MPOB), Mutiara Kuala Lumpur, Malaysia.

Franqueville (de), H., Diabaté, S. (2004). Status on oil palm wascular wilt. In: MPOB. *Proceedings of the International conference on pests and diseases of importance to the oil palm in-*

dustry, Kuala Lumpur, Malaysia 18-19 May 2004. s.l.: s.n., pp. 30-36. International conference on pests and diseases of importance to the oil palm industry, 2004-05-18/2004-05-19, Kuala Lumpur, Malaysie.

Fraselle, J. V. (1951). Experimental evidence of pathogenicity of *Fusarium oxysporum* Schl. F. to the oil palm (*Elaeis guineensis* J.) *Nature*, 167: 447.

Gottlieb, A.M., and Wright, J.E. (1999). Taxonomy of *Ganoderma* from southern south America: subgenus *Ganoderma*. *Mycological Research,* 103, 661-673.

Idris, A.S., Kushairi, D., Ariffin, D., & Basri, M.W. (2006). Technique for inoculation of oil palm germinated seeds with *Ganoderma*. In *MPOB information series*, N° 321 (Eds Malaysian Palm Oil Board). Malaysia.

Kinge, TR, Mih, AM. (2011). *Ganoderma ryvardense* sp. nov. associated with Basal stem rot (BSR) disease of oil palm in Cameroon. *Mycosphere* 2(2), 179-188.

Mercière, M., Laybats, A., Carasco-Lacombe, C., Tan, J.S., Klopp, C., Durand-Gasselin, T., Shahrul, S., Camus-Kulandaivelu, L., and Breton, F. (2015). Identification and development of new polymorphic microsatellite markers using genome assembly for *Ganoderma boninense*, causal agent of oil palm Basal stem rot disease. *Mycol. Progress,* 14:103.

Miranti, R., Setiawati, U., Nelson, S., Breton, F., and Sore, R. (2010). Genetic combine Ability (GCA) for *Ganoderma* tolerance via nursery screening test. International Oil Palm Conference 1-3 June 2010, Yogyakarta, Indonesia.

Moncalvo, J.M., Wang, H.H., and Hseu, R.S. (1995). Phylogenetic relationships in *Ganoderma* inferred from the internal transcribed spacers and 25S ribosomal DNA sequences. *Mycologia* 87, 223-238.

Moncalvo, J.M. (2000). Systematics of *Ganoderma*; J. Flood (ed.), P.D. Bridge (ed.) and M. Holderness (ed.) Cabi publishing, ©CAB International 2000.

Pilotti, C.A., Sanderson, F.R., Aitken, E.A.B. (2002). Sexuality and interactions of monokaryotic and dikaryotic mycelia of *Ganoderma boninense*. *Mycol Res* 106:1315-1322.

Pilotti, C.A., Sanderson, F.R., Aitken, E.A.B. (2003). Genetic structure of a population of *Ganoderma boninense* on oil palm. *Plant Pathol* 52(4):455-463.

Renard, J.L., de Franqueville, H., Meunier, J., Noiret, J.M. (1991). Méthode d'évaluation du comportement du palmier à huile vis-à-vis de la fusariose vasculaire due à *Fusarium oxysporum f.sp. elaeidis*. Résultats. In: *L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides*. Ed. AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, Paris: 121-134.

Richter, C., Wittstein, K., Kirk, P.M. and Stadler, M. (2015). An assessment of the taxonomy and chemotaxonomy of *Ganoderma*. *Fungal Diversity*, vol. 71 – 1, pp. 1-15.

Seo, G.S., and Kirk, P.M. (2000). *Ganodermataceae*: nomenclature and classification. In *Ganoderma diseases of perennial crops*; J. Flood (ed.), P.D. Bridge (ed.) and M. Holderness (ed.) Cabi publishing, ©CAB International 2000.

Singh, G. (1991). *Ganoderma.* The scourge of oil palms in the coastal areas. *The Planter*, 67, 421-444.

Susanto, A. (2009). Basal stem rot in Indonesia: Biology, Economie Importance, Epidemiology, Detection, and Control. In Proc. of the International Workshop on Awareness, Detection, and

Control of Oil Palm Devastating Diseases. 6 November 2009, Kuala Lumpur Convention Centre (KLCC), Kuala Lumpur Malaysia, 180 pp.

Susanto, A., and Huan, L. K. (2010). Management of *Ganoderma* in mineral and peat soil in Indonesia. In: *Proceedings of the Second International Seminar Oil Palm Diseases: Advances in Ganoderma Research and Management*. 31st May 2010. Yogyakarta, Indonesia.

Turner, P.D. (1965). Infection of oil palm by *Ganoderma*. *Phytopathology*, 55, 937.

Wardlaw, C. W. (1946). *Fusarium oxysporum* on the oil palm. *Nature*, 158:712. Atent moluptas