

### **Ganoderma: progresos en investigación, manejo y retos a futuro\***

#### *Ganoderma: Research Advances, Management and Future Challenges*

**AUTORES:** Shamala Sundram, Idris Abu Seman, Nur Diyana Roslan, Lee Pei Lee Angel, Intan Nur Ainni Mohamed Azni, Salwa Abdullah Sirajuddin.

**CITACIÓN:** Sundram, S., Seman, I. A., Roslan, N. D., Angel, L. P. L., Mohamed-Azni, I. N. A., & Sirajuddin, S. A. (2019). *Ganoderma: progresos en investigación, manejo y retos a futuro. Palmas*, 40 (Especial Tomo I), 57-69.

**PALABRAS CLAVE:** palma de aceite, *Ganoderma*, Pudrición basal del estípite, manejo, retos.

**KEYWORDS:** Oil palm, *Ganoderma*, basal stem rot, control, challenges.

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



**SHAMALA SUNDRAM**  
Junta de Aceite de Palma de Malasia  
Malaysian Palm Oil Board (MPOB)

## Resumen

La palma de aceite, el cultivo que se extiende por la región del cinturón ecuatorial, no está exenta de pestes y enfermedades. Este cultivo es altamente susceptible a una serie de enfermedades limitadas a la región donde se planta. La Pudrición basal del estípite es causada por *Ganoderma* spp., la amenaza número uno en la región del Sudeste Asiático. Históricamente, era percibida como una enfermedad senescente, pero pronto se descubrió que su prevalencia no tiene correlación con la edad de la palma. Además de los factores predisponentes que incluyen parámetros bióticos y abióticos, se planteó la hipótesis de que los materiales de siembra anteriores, el tipo de suelo, el estado de los nutrientes y las técnicas de replantación contribuían a su propagación. De todos estos factores, la técnica de replantación juega un papel fundamental para controlarla, pero no es suficiente. Resulta prioritario un Sistema de Manejo Integrado de Plagas (MIP), con un subconjunto de MIP denominado Manejo Integral de *Ganoderma* (MIG). El MIG es un conjunto de estrategias que intenta controlar de manera integral la enfermedad dentro de un umbral económico. Este enfoque es una combinación de prácticas culturales, control

biológico y aplicación de químicos. Los montículos y fosos de tierra, que antes se pensaba no eran efectivos, actualmente son activamente utilizados en el campo como un último recurso para prolongar la vida útil de la palma productiva. En la búsqueda para lograr el estado de cultivo sostenible, la aplicación de controles biológicos es el camino a seguir en el manejo eficaz de la enfermedad. A continuación, discutiremos progresos recientes en los agentes, principalmente *Trichoderma*, *Micorriza arbuscular* (MA), *Hendersonia*, *Hymenomycotina*, *Actinomycetales* y bacterias endófitas. Se prevé que la detección de un material resistente/tolerante es la medida más efectiva en contra de esta enfermedad mortal. La búsqueda de estos se lleva a cabo activamente mediante la revisión de materiales mejorados avanzados. Futuras tecnologías de edición genética podrían proporcionar a los mejoradores mayor flexibilidad para introducir rasgos beneficiosos en el genoma.

## Abstract

Oil palm, the crop that spreads across the region of equatorial belt is no exception to pest and diseases. The crop is highly susceptible to a number of diseases confined to the region it is planted. Basal stem rot caused by *Ganoderma* spp. is the number one threat to its cultivation in the South East Asia region. Historically, the disease was once perceived as a senescence disease but soon discovered that the prevalence to have no correlation to the age of palm. Predisposing factors that include biotic and abiotic parameters: previous planting materials, soil type, nutrient status, replanting techniques were hypothesized to have contributed to the disease spread. However, among these factors, replanting technique plays a key role in keeping this disease at bay. However, identifying a single predisposing factor is insufficient to manage the disease. On this respect, an integrated Pest Management System (IPM) is the priority in controlling the pest and disease with a subset of IPM referred as Integrated *Ganoderma* Management (IGM). IGM is an assembly of management strategies that holistically attempts to control the disease at an economic threshold. The approach is a combination of cultural practices, biological control and chemical application. Soil mounding and trenches that were once thought not effective is now being actively carried out in the field as a final resort to prolong the lifespan of the standing productive palm. In the pursuit of achieving the status of a sustainable crop, biological control application is the way forward in managing the disease effectively. Recent advances on these microbes namely *Trichoderma*, *Arbuscular mycorrhiza* (AM), *Hendersonia*, *Hymenomyces*, *Actinomycetes* and endophytic bacteria will be discussed in this paper. It is envisaged that screening for resistant/tolerant material against the disease would be the most effective measure against this deadly disease. Screening for resistant materials are actively being carried out using mass screening of advance breeding materials. On this note, future gene editing technologies would be able to provide breeders with more flexibility to introduce beneficial traits into the genome.

---

## Introducción

### Historia de la taxonomía de *Ganoderma*

En 1881, el género *Ganoderma* fue presentado por el micólogo finlandés Petter Adolf Karsten y *Polyporus lucidus* fue la única especie que él incluyó en el género. El micólogo francés Narcisse Théophile Patouillard describió varias especies nuevas de *Ganoderma*, con base en la característica única de basidióspora de

doble membrana, y transfirió los nombres de otros géneros de políporos durante 40 años a partir de 1887. En 1889, Patouillard publicó una monografía que resultó en la distinción de 48 especies con esporas esféricas o subesféricas en la sección *Amauroderma*. Entonces, en 1905, la sección *Amauroderma* de *Ganoderma* fue elevada al rango de género por William Murill. Marinus Donk propuso la subfamilia *Ganodermatoideae*, que fue la primera en unir el taxón de la gran familia *Polyporaceae*. El taxón se actualizó al

rango de familia con la introducción de *Ganodermataceae*. El nombre ordinal *Ganodermatales* fue introducido y aceptado por David Pegler en la octava edición del diccionario de los fungus (Seo y Kirk, 2000).

## Pudrición basal del estípote por *Ganoderma*

La PBE es la enfermedad más prevalente en las plantaciones de palma de aceite en el Sudeste Asiático, causada por *Ganoderma*. Fue descrita por primera vez en la República del Congo, África Occidental, en 1915 (Wakefield, 1920) y detectada por Thompson (1931) en Malasia, en palmas de aceite con más de 25 años de edad. La infección atacó palmas viejas que se debían replantar. Con el paso de los años y la replantación entrando a la cuarta generación, las incidencias aumentaron y comenzó a afectar a palmas más jóvenes, de entre 10 y 15 años de edad (Turner, 1981). Recientemente se reportó que *Ganoderma* estaba infectando palmas de aceite tan jóvenes como de entre 12 y 24 meses de plantadas. Esto se debió a la falta de técnicas de saneamiento que causaron una infección rápida, dada la abrumadora presión del inóculo en el suelo. La palma de aceite, particularmente en áreas replantadas (Singh, 1991) o en zonas con cubierta sembrada en palma de coco (Ariffin *et al.*, 1996), tuvieron una alta incidencia de *Ganoderma* en aquellas con cuatro y cinco años de edad. La manifestación de PBE es más prevalente en áreas maduras de palma de aceite en Malasia, donde puede destruir 80 % del cultivo cuando está en la mitad de su vida económica útil (Turner y Gillbanks, 2003). Un estudio realizado por Idris (2003) investigó la especie responsable del PBE, en el que examinó 267 aislados obtenidos en un amplio análisis de 37 plantaciones ubicadas en todas las regiones de Malasia. Encontró al menos tres especies involucradas: *G. boninense*, *G. zonatum* y *G. miniatocinctum*. Todos los aislados de *G. boninense* y *G. zonatum* resultaron patogénicos, pero este último era significativamente menos agresivo; mientras que *G. tornatum* solo se encontró en palmas muertas y presuntamente saprófitas.

## Factores predisponentes

Los factores predisponentes fueron otro aspecto etiológico que inicialmente se presumió como la

causa principal de la enfermedad. Estos incluyen información sobre plantaciones anteriores, tipo de suelo, estado de nutrientes, técnicas de replantación y la edad de las palmas. De estos, el único que aparentemente contribuye a la prevalencia de la enfermedad es la técnica de replantación. Investigaciones recientes que utilizan diferentes sustratos de biomasa de palma de aceite tales como el pecíolo, el raquis y las raíces, encontraron que las últimas tenían la mayor tasa de supervivencia en el campo. El sustrato es capaz de sobrevivir durante más de 16 semanas. El estudio también fue comparado con bloques de madera de caucho (RWB, por su sigla en inglés) y encontró que la supervivencia de RBW superaba las 24 semanas (Gunashila *et al.*, 2017). Por lo tanto, la remoción de biomasa continúa siendo uno de los criterios más importantes para limitar el potencial del inóculo en el campo y reducir la prevalencia de la enfermedad.

Turner (1981) descubrió que las plantaciones anteriores juegan un papel importante en la propagación de la PBE. El estudio encontró que a los cinco años de edad, las palmas de aceite que fueron plantadas en lugar de palmas de coco, habían sido diagnosticadas con síntomas severos de la enfermedad. Esto fue diferente para plantaciones anteriores de caucho, que mostraron una incidencia muy baja y se esperaba que esta atacara únicamente cuando las palmas fueran mayores (Turner, 1981). Sin embargo, el escenario es completamente diferente porque la plantación anterior, el tipo de suelo y el estado de nutrientes no afectan la prevalencia de la enfermedad. El manejo de esta, con un enfoque y estrategia integral de sanidad apropiada, logró retrasarla de manera significativa. Recientemente, el Malaysian Palm Oil Board (MPOB) público una serie de procedimientos operativos estándar (SOP, por su sigla en inglés) para el control de *Ganoderma* en palma de aceite. Los SOP fueron publicados en 2016 y describen casi todo lo que un cultivador debe saber sobre la identificación, detección y control de la PBE por *Ganoderma*. Hay varios componentes para su manejo, incluyendo prácticas de cultivo, de control biológico y químico. En el campo se aplican estrategias apropiadas según la severidad de la enfermedad antes, durante y después de la replantación. Al darse cuenta de esto, MPOB introdujo el Manejo Integral de *Ganoderma* (MIG)

a la industria, en forma de pautas sobre cómo tratar palmas recién plantadas, replantadas e infectadas en el campo. A continuación se resume cada práctica de control y sus avances recientes.

## Manejo de la enfermedad mediante prácticas de cultivo

Esta técnica es el primer componente del MIG. MPOB ha integrado varios enfoques para controlar y manejar la *Ganoderma* en el campo. Las estrategias fueron desarrolladas para minimizar la incidencia de la enfermedad en el área de replantación, prolongar la vida productiva de las palmas y retrasar la infección con *Ganoderma*. Incluyen controles biológicos, químicos y de cultivo. Sin embargo, esta investigación ha tenido muy poco progreso. Si no se llevan a cabo las prácticas recomendadas durante la replantación, se producirán infecciones graves que pueden aparecer tan pronto como a los 12 meses en el campo.

### Programa de censo de PBE

Uno de los aspectos más importantes del control es un estudio integral de la PBE, que debe realizarse en una plantación con un historial conocido de infección. Es obligatorio hacer un censo del terreno dentro del año anterior a la replantación, con el fin de identificar las palmas infectadas. Estas se etiquetan y amarran con cinta, y sus coordenadas se anotan en el sistema de posicionamiento global (GPS) para su referencia futura. El censo de terreno suministra información importante sobre el estado de las palmas infectadas, que son evaluadas con base en el índice de gravedad de enfermedad (DSI, por su sigla en

inglés), en palmas maduras e inmaduras. El paso a seguir es decidir la estrategia adecuada.

## Prácticas de cultivo

Las estrategias de control están principalmente enfocadas en la eliminación del inóculo de *Ganoderma* que está colonizando y sobreviviendo en el suelo, siendo la fuente para las palmas recién plantadas. Por lo tanto, con el fin de controlar la presión del inóculo, es necesario remover y tratar las infectadas. En el caso de palmas maduras se han creado varias técnicas para mantener y prolongar su vida productiva.

i) **Montículos de tierra:** el MPOB ha sugerido implementarlos con tratamientos orgánicos, inorgánicos y químicos a las palmas enfermas, con el fin de mantener su productividad entre 10 y 15 años. Este método aumenta el crecimiento de las raíces de la palma de aceite para mejorar la absorción de nutrientes. Incluye la remoción del tejido enfermo mediante cirugía, o la aplicación de tratamientos químicos alrededor y sobre este.

ii) **Saneamiento:** significa destruir y eliminar la presencia del inóculo de *Ganoderma* en las palmas infectadas. Este procedimiento se realiza removiendo los rodales de palmas de aceite enfermas que portan masas de micelio de *Ganoderma*, para evitar una mayor transmisión de la enfermedad antes de la replantación. También deben realizarse en las palmas existentes que muestren síntomas de infección. Se hizo una prueba de campo para investigar la efectividad de dicho procedimiento en el control de *Ganoderma* después de la replantación. Se evaluaron los síntomas de PBE en intervalos de seis meses, uno, dos y tres años después de la plantación, y en intervalos de un año durante los siguientes. Des-

pués de 15 años de plantadas, los resultados mostraron una incidencia promedio de 39,4 % de PBE en el área sin saneamiento, y de tan solo el 8,5 % en donde se implementó. Con base en esta prueba, el procedimiento logró reducir la PBE en un 30,9 %.

iii) **Las zanjas son otra opción,** pero es menos popular entre

Uno de los aspectos más importantes del control es un estudio integral de la PBE, que debe realizarse en una plantación con un historial conocido de infección.

los cultivadores debido a su costo y efecto insignificante sobre la palma afectada. El procedimiento implica la remoción de tierra alrededor de la palma a una profundidad de 60 cm, formando un cuadrado a aproximadamente un m del tronco. Se considera que las zanjas evitan el contacto raíz a raíz, que también es uno de los principales factores de propagación de la enfermedad en el campo. Las zanjas afectan la aplicación de fertilizantes y dificultan la cosecha de los frutos.

El MPOB recomienda, de manera especial, seguir los procedimientos de sanidad para tratar las áreas con incidencia de PBE, incluyendo la tala de palmas viejas, seguido de la excavación del tronco, muñón y raíces y, finalmente, arar una nueva hilera de siembra. También sugiere que el nuevo hoyo para plantar esté lejos del antiguo.

## Manejo de la enfermedad con agentes de control biológico

El agente de control biológico (ACB) tiene la mayoría de avances de investigación en el manejo de *Ganoderma*. MPOB ha comercializado varios productos que están disponibles en el mercado actualmente. Estos tienen hongos, bacterias o actinomicetos como el microorganismo efectivo (ME). El ACB se define como el uso de un cultivo único o mixto de organismos para controlar los fitopatógenos, y permitir la restauración de algunos de los factores reguladores que limitan la capacidad competitiva de los patógenos (Chet & Inbar, 1994).

En la agricultura sostenible se recomienda emplear una fuente natural para desarrollar actividad en contra de patógenos dañinos para la planta, y reemplazar los pesticidas químicos, perjudiciales para el medioambiente (Sadoma *et al.*, 2011). Para ser un ACB exitoso, este debe cumplir con el requisito de varios modos de acción antagonistas, incluyendo microparasitismo, capacidad de liberar compuestos antifúngicos, enzimas líticas, potencial para competir por nutrientes con otros patógenos, resistencia inducida, promover el crecimiento de la planta para amortiguar los ambientes hostiles (Pal & Gardener, 2006). Comercialmente, estos ACB fueron desarrollados como biofungicidas para el control de diferentes en-

fermedades patógenas y su aplicación es considerada como un tratamiento preventivo, ya que no tiene la capacidad de curar infecciones preexistentes. Se puede mejorar su efectividad con su aplicación en plantas infectadas en etapas tempranas. Recientemente, la PBE es el centro del uso de ACB que incluye varios microorganismos que han sido estudiados por su actividad antagonista de *Ganoderma*.

## Hongos como agente de control biológico de *Ganoderma*

Algunas especies de *Trichoderma* son uno de los agentes más poderosos debido a su capacidad para producir compuestos antifúngicos, microparasitismo, competencia por nutrientes y la producción de enzimas que degradan la membrana celular para la defensa contra diferentes tipos de patógenos de plantas (Harman *et al.*, 2004; Sundram, 2013, Angel *et al.*, 2016). El *Trichoderma* en el control de *G. boninense* ha sido estudiado exhaustivamente *in vitro* e *in vivo* (Sundram e Idris, 2008; Sundram, 2013; Angel *et al.*, 2016, 2017). La evaluación en vivero y en campo realizada por Sundram *et al.* (2016) mostró que las cepas de *Trichoderma* son un biofertilizante apropiado para el manejo de la enfermedad en el cultivo de palma de aceite. La Micorriza arbuscular-vesicular (MAV) es otro hongo beneficioso en la agricultura sostenible, ya que tiene la capacidad de reducir el daño causado por los patógenos de plantas, promover el crecimiento de la planta, y es rentable y amigable con el medioambiente (Sundram *et al.*, 2015; Dar y Reshi, 2017). Estudios prueban un aumento en la tolerancia del anfitrión a ataques de patógenos después de la inoculación con MAV, reduciendo el desarrollo de la enfermedad (Sundram *et al.*, 2015). Sundram *et al.* (2011) y Sundram *et al.* (2015) evidencian la capacidad de MAV como un ACB para la defensa en contra de *G. boninense*. La aplicación de tanto *Glomus intraradices* y *G. clarum* redujo significativamente el desarrollo de la enfermedad de Pudrición basal del estípite y promovió el crecimiento de la palma de aceite tanto en pruebas de vivero como de campo (Sundram *et al.*, 2015).

## Uso de microbios

Otros microbios que se utilizan como ACB son los actinomicetos debido a su facultad para producir

compuestos antifúngicos, antibióticos, enzimas, y porque también tienen factores para el crecimiento de plantas. Varios estudios han mostrado su capacidad como un antagonista fúngico con potencial de colonizar las raíces (Cao *et al.*, 2004; Shariffah-Muzaimah *et al.*, 2015). Se aisló *Streptomyces nigrogriseolus* GanoSA1 del suelo y se encontró que era altamente antagonista de *Ganoderma* en un estudio *in vitro* e *in vivo* (Shariffah-Muzaimah *et al.*, 2015, 2017). Posteriormente, estos actinomicetos fueron desarrollados en un producto comercial conocido como actinoPLUS. Las pruebas de campo determinaron que, después de 36 meses de tratamiento, solo se observó un 6,6 % de palmas muertas debido a infección por *Ganoderma* (Idris *et al.*, 2016). Se encontró que *Hendersonia*, un hongo endofítico aislado de los tejidos de la raíz, era un potencial ACB en contra de *Ganoderma* (Nurrashyeda *et al.*, 2011). Kamarudin *et al.* (2017) también evidenciaron, que una colonización exitosa de *Hendersonia* en las plántulas de la palma de aceite resultó en una regulación positiva de los genes de biosíntesis de tiamina, lo que puede haber contribuido a mantener un crecimiento y función óptima de la planta. *Hendersonia* fue desarrollado en un producto comercial como un biofertilizante llamado GanoEF, que ha sido utilizado por los cultivadores para prevenir y controlar la *Ganoderma*, con pruebas de campo mostrando únicamente 5,0 % de palmas muertas 36 meses después de las pruebas (Nurrashyeda *et al.*, 2011; Idris *et al.*, 2016). La regulación de la enfermedad utilizando basidiomicetos es uno de los enfoques más recientes, especialmente en el periodo de replantación. Se evaluaron las propiedades de control biológico de varios tipos de estos y se encontró que *Pycnoporus sanguineus*, *Trametes lactinea* y *Lentinus tigrinus* eran potenciales biodegradadores con una buena capacidad de supresión de la enfermedad en pruebas de vivero. Los basidiomicetos candidatos serán explorados en el campo para acelerar la biodegradación de la biomasa de la palma de aceite y para crear competencia con *G. boninense* para reducir los potenciales de inóculo.

## Uso de bacterias como agente de control

También se ha estudiado el uso de bacterias debido a su capacidad antagonista de patógenos. La de las

endofíticas para colonizar el tejido anfitrión, es una ventaja adicional para mejorar aún más el desempeño de un cultivo. Se han analizado bacterias endofíticas como *Burkholderia* spp., *Bacillus* spp., *Serratia* spp. y *Pseudomonas* spp., encontrando que estas tienen la facultad de controlar la actividad de *Ganoderma* (Sapak *et al.*, 2008; Azadeh *et al.*, 2010; Maizatul *et al.*, 2012; Bivi *et al.*, 2010; Sundram *et al.*, 2015). Por otro lado, las bacterias endofíticas son uniformes en todo el contexto y residen principalmente en los sistemas vasculares adyacentes a los vasos del floema y el xilema. Esta característica es ideal, ya que les permite inhibir la penetración de *Ganoderma* en el desarrollo del sistema vascular de la planta (Bivi *et al.*, 2010). Sundram *et al.* (2015) demostraron que la incorporación de Micorriza junto con *P. aeruginosa* endofítica mejoró significativamente la eficacia del control biológico tanto en pruebas de vivero como de campo. *Burkholderia* aislado de la palma de aceite muestra la capacidad de controlar *Ganoderma* en pruebas *in vitro* y en vivero (Maizatul e Idris, 2009) y, posteriormente, fue desarrollado en una fórmula como polvo *Burkholderia* GanodEB2 (Maizatul *et al.*, 2012).

## Control químico

El progreso de la investigación en el control químico es limitado. Palmas maduras que mostraban síntomas tempranos de infección por *Ganoderma* fueron sometidas a varios tratamientos químicos para mantener su ciclo económico productivo. MPOB ha estado ejerciendo y creando conciencia en el uso del fungicida hexaconazol y el fumigante dazomet para evitar o reducir el efecto epidémico de *Ganoderma* en el campo.

i) **Fungicida hexaconazol:** la aplicación de fungicida para el control de enfermedades ha demostrado ser efectiva en varios cultivos, incluyendo el de papa (Drenth y Sendall, 2004), cacao (Drenth & Sendall, 2004), durio (Lim, 1990; Hien *et al.*, 2004), caucho (Lim and Lee, 1990) y cultivos de cereales (Poole y Arnaudin, 2014). Se inyectó el fungicida hexaconazol (4,5 g de ingrediente activo) disuelto en siete litros de agua en una lesión en progreso del micelio fúngico utilizando un aparato de inyección a presión (AIP), a aproximadamente 15 kg cm<sup>-2</sup>. Las palmas infectadas con síntomas iniciales

de *Ganoderma* lograron protegerse y prolongar su ciclo de vida productivo.

- ii) **Fumigante dazomet:** el tratamiento del muñón con este fumigante puede ser aplicado en áreas donde no es posible cortar el tronco. Ha sido ampliamente utilizado para ayudar a reducir las incidencias de enfermedades y mejorar la vida útil de varios cultivos. Se ha comprobado que su uso en suelos erradica varios patógenos en árboles de pomo y drupa (Mai & Abawi, 1981), pino (Filip & Roth, 1977) y setas (Vishwakarma *et al.*, 2015). Los fumigantes de suelo metilisotiocianato (MITC) han demostrado suprimir efectivamente los patógenos de basidiomicetos en las raíces (HaiXia *et al.*, 2010). Dazomet libera MITC a medida que se descompone en el suelo al entrar en contacto con el agua. Las pruebas de campo revelaron que dazomet puede reducir efectivamente la cantidad de inóculos de *Ganoderma* con una sola aplicación de 485 g i.a. por muñón.

## Detección de *Ganoderma boninense* en palma de aceite

La detección de la enfermedad de PBE causada por *Ganoderma boninense* es un desafío debido al hecho de que los síntomas externos solo aparecen/son visibles en las etapas críticas. Los métodos establecidos de detección que se utilizan actualmente incluyen pruebas bioquímicas, análisis molecular y agricultura de precisión (detección de campo y emergente). A continuación se presentan los que han sido desarrollados por MPOB.

### Análisis bioquímico/detección cultural

- i) **Medio selectivo de *Ganoderma* (MSG):** es uno de los métodos para la detección más temprana de tejidos infectados con *Ganoderma*. Contiene un fungicida y antibióticos que evitan el desarrollo de bacterias y otros hongos (Ariffin & Idris, 1992) e induce la formación de un halo

La detección de la enfermedad PBE causada por *Ganoderma boninense* es un desafío debido al hecho de que los síntomas externos solo aparecen visibles en las etapas críticas. Los métodos establecidos incluyen pruebas bioquímicas, análisis molecular y agricultura de precisión.

marrón alrededor de la colonia. Sin embargo, no es concluyente ya que otros basidiomicetos también pueden crecer en este medio. Usualmente, este método es compatible con una identificación molecular de seguimiento.

- ii) **Inmunoensayo:** los métodos inmunológicos mediante la manipulación de anticuerpos han sido ampliamente utilizados en la detección de bacterias, virus, hongos en las raíces, en el suelo y en los materiales de la palma. El uso de anticuerpos monoclonales y policlonales en técnicas inmunológicas, tales como el ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas (ELISA), ofrece una mayor simplicidad y un diagnóstico rápido. Este método también ha sido reportado en la detección de *Ganoderma* spp. El ensayo utilizando ELISA-Pab mostró una mejor detección en comparación con el MSG (método basado en el cultivo), mediante la validación de reacciones cruzadas con hongos saprófitos (Madihah *et al.*, 2014).

### Análisis de compuestos orgánicos volátiles (COV)

Los patrones de descubrimiento y compuestos orgánicos volátiles (COV) específicos, asociados con la infección de *Ganoderma* utilizando la CG-EM, pueden servir como clave para la detección temprana de la PBE. Se identificaron tres COV producidos por *Ganoderma* patógeno (2-furano-carboxaldehído, 5-(hidroxilmetil)-, tiofeno, 2-propilo y 4H-piran-4-ona) de raíces infectadas y se seleccionaron biomarcadores potenciales (Nusaibah *et al.*, 2013). Actualmente, los

COV de micelios del cuerpo fructífero de *Ganoderma* son evaluados y perfilados con el fin de complementar el estudio para identificar biomarcadores potenciales.

## Análisis molecular y detección

- i) **Multiplex PCR (MPCR):** es una prueba cualitativa *in vitro* con una mayor sensibilidad que utiliza la tecnología de oligonucleótido de doble especificidad (DPO). Esta técnica permite la detección temprana de las cuatro especies de *Ganoderma* en la palma de aceite mediante una única reacción en tubo (Idris *et al.*, 2010).
- ii) **Amplificación isotérmica mediada por bucle (LAMP):** actualmente se está desarrollando la detección de *Ganoderma* mediante LAMP. Se seleccionaron unos pocos genes de apareamiento, reguladores y nuevos de *G. boninense*. De ocho conjuntos de iniciadores LAMP utilizados, solo una combinación puede diferenciar las cepas patógenas de *Ganoderma* (*G. boninense*, *G. zonatum* y *G. miniatocinctum*) contra las no patógenas (*G. tornatum* y otros hongos de ascomicetos/basidiomicetos) (Madiah *et al.*, 2018).

## Agricultura de precisión (detección en campo y emergente)

- i) **Tomografías:** se desarrolló la tomografía GanoSken para ubicar e identificar la infección, y un sistema de información geográfica para detectar el sitio y distribución posible de infecciones de *Ganoderma* en plantaciones (Idris *et al.*, 2010). Su gran ventaja es que tiene la capacidad de hacerlo en palmas de aceite que parecen sanas.
- ii) **Espectroscopia de campo:** consiste en un sensor de espectrorradiómetro, calibración de reflectancia blanca, cable de fibra óptica y un *software* de procesamiento de datos conocido como Sistema de Análisis Espectral de Palma de Aceite (OPSAS por su sigla en inglés). La técnica de espectroscopia de campo se refiere a la aplicación de un espectrorradiómetro de mano para recuperar reflectancias espectrales del dosel y de las hojas de la palma de aceite. De esta manera se identificaron longitudes de onda apropiadas para la

detección de *Ganoderma* en la palma de aceite (Izzuddin *et al.*, 2013, 2017b).

- iii) **Vehículo aéreo no tripulado (VANT) multi-espectral:** examina el desempeño de imágenes rojo-verde-azul (RVA) y de infrarrojo cercano (NIR) de un VANT, para la detección aérea de *Ganoderma* en la palma de aceite (Izzuddin *et al.*, 2017a). Sin embargo, la precisión no logra un buen estándar de clasificación de más del 80 %, según lo sugerido por varios investigadores.
- iv) **Constante dieléctrica (CD) y mediciones del contenido de clorofila:** la técnica de la espectroscopia dieléctrica es similar a la de infrarrojo y fluorescencia en términos de rapidez y no invasibilidad, y opera con base en las propiedades eléctricas de un producto como función de la frecuencia. Esta investiga el potencial de CD y las propiedades de clorofila en la detección de la PBE en palmas de aceite. Los resultados demostraron que la CD y el contenido de clorofila en ciertos niveles puede ser utilizado como un parámetro de detección de la enfermedad por *Ganoderma* (Alfadhil *et al.*, 2018).

## Epidemiología

Los hallazgos de Idris (2003) en la identificación de los patógenos causales de la PBE ameritan una nueva investigación. Al momento del estudio, la investigación taxonómica se enfocó en las características morfológicas. Sin embargo, con la evolución de la biotecnología, en la actualidad la taxonomía es fuertemente apoyada por la caracterización molecular. Con el progreso en las herramientas de biotecnología, la actualización de la sistemática del género que causa la PBE, es el siguiente paso para cerrar la brecha de conocimiento sobre este patógeno. Dicha actualización juega un papel fundamental en la epidemiología del patógeno de la colección de *Ganoderma*, mediante la identificación de características morfotaxonómicas intrínsecas, la capacidad de patogenicidad y las técnicas moleculares y bioquímicas.

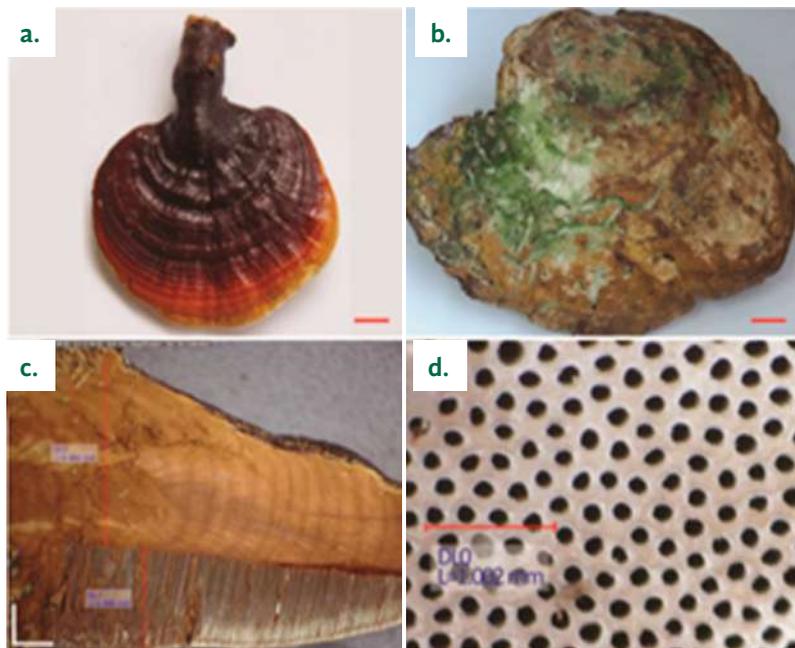
Por lo tanto, se inició la recolección con el muestreo de cuerpos fructíferos del patógeno en todo el país, incluyendo Sabah y Sarawak. A la fecha, se ha completado un total de 20 puntos de muestra de diferentes ubicaciones geográficas en Malasia, y la colección se está

acercando a los 500 aislados. La gran recopilación de datos sobre las características fenotípicas y genotípicas del patógeno llevó al desarrollo de un portal. Este servirá como herramienta de información sobre el patógeno con las características fenotípicas y genotípicas del hongo de podredumbre blanca (Figura 1). La colección se llama Base de Datos de Información de *Ganoderma* (GANOID), y se generó a partir de la recolección de cultivos de sus especies en campos de palma de aceite de todo el país. El portal funciona como una plataforma centralizada que almacena, organiza, interrelaciona, actualiza y recupera información de los aislados dentro y fuera de MPOB de manera eficiente. Este portal también es el primero de Malasia que presenta una colección, secuencias de ADN e información morfológica sobre las especies para la industria y el resto del público.

Con la implementación de tecnología de punta como el análisis de big data de inteligencia artificial, el portal podría servir como base para el establecimiento futuro de un modelo de predicción de enfermedades a gran escala, basado en datos geográficos para mejorar la prevención temprana de estas en la palma de aceite.

## Manejo a largo plazo: detección de resistencia

La detección de la resistencia es la mejor manera para controlar la enfermedad como un enfoque a largo plazo. Socfin anunció la identificación de un material resistente a través de su programa de evaluación de 10 años, conocido como “Material Tahan *Ganoderma*” o MTG, disponible comercialmente. MPOB también inició la investigación y, actualmente lo hace a más de 50 líneas de reproducción. Esto requiere una estrecha coordinación entre el grupo de patología y reproducción, y se espera que la evaluación sea uno de los programas más importantes bajo las prioridades de investigación. Para lograrlo, se utilizan técnicas de germinación de semillas en vez de técnicas de espera, y requiere menos intervalos de tiempo para la infección. El índice de severidad de enfermedad (DSI) convencional no aplica con la técnica de germinación de semillas; por el contrario, los síntomas positivos y la infección del estípite determinan la resistencia de una línea de reproducción.



**Figura 1.** Características y visualización microscópica de cuerpo fructífero de *Ganoderma*. (A) Lacado y marrón rojizo; (B) No lacado y marrón claro en la superficie; (C) Himenio y contexto de la corteza; (D) tamaño del poro en el cuerpo fructífero (a barra de escala roja).

## Desafíos a futuro

La enfermedad ha aumentado respecto a las últimas décadas. Inicialmente, se pensó que los factores pre-disponentes eran los factores abióticos que contribuían a la propagación, pero el escenario presente encontró que solo las técnicas de replantación son las más relevantes para su manejo. No obstante, el cambio climático generará incertidumbre en la producción de palma de aceite en todo el mundo, dado que el calentamiento global aumentará el rango y la gravedad de las enfermedades dentro de los próximos 20 años. Un informe reciente de Paterson *et al.* (2015) resalta el impacto del cambio climático en la productividad, así como en los problemas de propagación y desarrollo. Este trabajo también concluyó que hay una “ventana de oportunidad” de aproximadamente 30 años para hacer frente a los posibles niveles futuros de la enfermedad si se toman acciones correctivas en estos momentos.

Varios problemas sin resolver también incluyen el método de propagación, que no se ha establecido definitivamente, pero que es casi seguro que sea por esporas en el aire. La investigación por la función de estas debe ser abordada con un trabajo más colaborativo y publicar artículos científicos. La podredumbre blanca es el modo de acción definitivo del hongo y debe ser estudiada en relación con la gravedad de la enfermedad en la palma de aceite.

Otros retos también incluyen la evolución de la especie *Ganoderma* en una cepa más virulenta. Con cambios en los factores climáticos y medioambientales, existe una alta posibilidad de encontrar cepas más patógenas en el futuro. Una apreciación de esto llevará a métodos óptimos para controlar las pérdidas de palma de aceite, especialmente respecto a la detección continua de resistencia, con un programa de detección que actualice las cepas de prueba respecto a su virulencia.

---

## Referencias

- Alfadhl, Y. K., Samsuzana, A. A., Siti, K. B., Nazmi, M. N., Idris, A. S., & Izzuddin, M. A. (2018). Dielectric constant and chlorophyll content measurements for basal stem rot (BSR) disease detection. En *2018 International Conference on Signals and Systems (ICSigSys)*, Bali, 2018, pp. 69-72.
- Angel, L. P. L., Sundram, S., Tay, B. Y. P., Yusof, M. T., & Ismail, I.S. (2017). Profiling of anti-fungal activity of *Trichoderma virens* 159c involved in biocontrol assay of *Ganoderma boninense*. *Journal Oil Palm Research*, 30, 83-93.
- Angel, L. P. L., Yusof, M. T., Ismail, I. S., Tay, B. Y. P., Mohamed-Azni, I. N., Kamarudin, N. H., & Sundram, S. (2016). An *in vitro* study of the antifungal activity of *Trichoderma virens* 7b and a profile of its non-polar antifungal components released against *Ganoderma boninense*. *Journal of Microbiology*, 54, 732-744.
- Ariffin, D., & Idris, A. S. (1992). The *Ganoderma* Selective Medium (GSM). Kuala Lumpur, Malaysia: Palm Oil Research Institute.
- Ariffin, D., Idris, A. S., & Marzuki, A. (1996). Spread of *Ganoderma boninense* and vegetative compatibility studies of a single field palm isolates. En *Proceedings PORIM International Palm Oil Congress*. Palm Oil Research Institute of Malaysia, Bangi.
- Azadeh, B. F. Sariah, M., & Wong, M. Y. (2010). Characterization of *Burkholderia cepacia* genomovar I as a potential biocontrol agent of *Ganoderma boninense* in oil palm. *African Journal of Biotechnology*, 24, 3542-3548.

- Bivi, M. R., Siti-Noor, M., Khairulmazmi, A., & Idris, A. S. (2010). Control of *Ganoderma boninense*: A causal agent of basal stem rot disease in oil palm with endophyte bacteria *in vitro*. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12, 833-839.
- Cao, L., Qiu, Z., Dai, X., Tan, H., Lin, Y., & Zhou, S. (2004). Isolation of endophytic actinomycetes from roots and leaves of banana (*Musa acuminata*) plants and their activity against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 20, 501-504
- Chet, I., & Inbar, J. (1994). Biological control of fungal pathogens. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 48, 37-43.
- Dar, M. H., & Reshi, Z. A. (2017). Vesicular Arbuscular Mycorrhizal (VAM) fungi- as a major biocontrol agent in modern sustainable agriculture system. *Russian Agricultural Sciences*, 43, 138-143.
- Drenth, A., & Sendall, B. (2004). Economic Impact of *Phytophthora* Diseases in Southeast Asia. In D. Andre & I. G. David (Ed.). *Diversity and Management of Phytophthora in Southeast Asia* (pp. 10-29). Canberra: ACIAR Monograph 114.
- Drenth, A., Guest, D. I., Minh-Chau, N., Sangchote, S., Vawdrey, L., & Diczbalis, Y. (2004). Integrated Management of *Phytophthora* Diseases of Durian: Recommendations and Benefit–Cost Analysis. In D. Andre & I. G. David (Ed.). *Diversity and Management of Phytophthora in Southeast Asia* (pp. 222-226). Canberra: ACIAR Monograph 114.
- Filip, G. M., & Roth, L. F. (1977). Stump injections with soil fumigants to eradicate *Armillariella mellea* from young-growth ponderosa pine killed by root rot. *Canadian Journal of Forest Research*, 7(2), 226-231.
- HaiXia, Q., Tao, L., YueJin, W., Yun, H., FanHua, Z., & SiQin, L. (2010). Study on fumigation with methyl isothiocyanate against common bunt (*Tilletia tritici*) of wheat. *Plant Quarantine*, 24(5), 5-8.
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species--opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2, 43-56.
- Idris, A. S., Mazliham, M. S., Loonis, P., & Basri, M. W. (2010). GanoSken for early detection of *Ganoderma* infection in oil palm. MPOB Information Series No. 499.
- Idris, A. S., Nurrashyeda, R., Mohd-Hefni, R., Shamala, S., & Norman, K. (2016). *Standard operating procedures (SOP) guidelines for managing Ganoderma disease in oil palm*. Kuala Lumpur: MPOB.
- Idris, A. S., Rajinder, S., Madihah, A. Z., & Basri, M. W. (2010). *Multiplex PCR-DNA kit for early detection and identification of Ganoderma species in oil palm*. MPOB Information Series No. 531.
- Idris, A. S., Yamaoka, M., Hayakawa, S., Basri M. W., Noorhasimah, I., & Ariffin, D. (2003). *PCR technique for detection of Ganoderma*. MPOB Information Series No. 202.
- Izzuddin, M. A., Ezzati, B., Nisfariza, M. N., Idris, A. S., & Alias, S. A. (2017a). *Analysis of red, green, blue (RGB) and near infrared (NIR) images from unmanned aerial vehicle (UAV) for detection of Ganoderma disease in oil palm*. *PIPOC 2017, KLCC KL*.
- Izzuddin, M. A., Idris, A. S., Nisfariza, M. N., Nor-Diana, A. A., Helmi, Z. M., & Ezzati, B. (2017b). The development of spectral indices for early detection of *Ganoderma* disease in oil palm seedling. *International Journal of Remote Sensing*, 38(23), 6505-6527.
- Izzuddin, M. A., Idris, A. S., Wahid, O., Nisfariza, M. N., & Helmi, Z. M. (2013). *Field spectroscopy for detection of Ganoderma disease in oil palm*. MPOB Information Series No. 532.

- Kamarudin, A. N., Idris, A. S., & Yusof, Z. N. A. (2017). Thiamine biosynthesis gene expression analysis in *Elaeis guineensis* during interactions with *Hendersonia toruloidea*. *Journal of Oil Palm Research*, 29, 218-226.
- Lim, T. K. (1990). *Durian diseases and disorders*. Kuala Lumpur: Tropical Press Sdn Bhd.
- Lim, T. K., & Lee, B. S. (1990). Control of *Phytophthora* on four temperate and tropical tree crops by trunk injection with phosphorous acid. En 3rd. *International Conference on Plant Protection in the Tropics*, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Madihah, A. Z., Idris, A. S., & Rafidah, A. R. (2014). Polyclonal antibodies of *Ganoderma boninense* isolated from Malaysian oil palm for detection of basal stem rot disease. *African Journal of Biotechnology*, 13(34), 3455-3463.
- Madihah, A. Z., Idris, A. S., Kamaruddin, S., Bharudin, I., Bakar, F. D. A., & Murad, A. M. A. (2018). Detection of *Ganoderma*, causal of basal stem rot (BSR) disease to oil palm using Loop-mediated isothermal amplification (LAMP). *The 15<sup>th</sup> Symposium of Malaysian Society of Applied Biology*, Malacca.
- Mai, W. F., & Abawi, G. S. (1981). Controlling replant diseases of pome and stone fruits in Northeastern United States by preplant fumigation. *Plant Disease*, 859-864.
- Maizatul, S. M., & Idris, A. S. (2009). Nursery evaluation of *Agrobacterium radiobacter*, *Burkholderia cepacia* and *Pseudomonas syringae* to control *Ganoderma boninense* infection in oil palm. *PIPOC International Palm Oil Congress, Agriculture, Biotechnology and Sustainability*.
- Maizatul, S. M., Idris, A. S., Madihah, A. Z., Nasyaruddin, M. N. M., & Kushairi, A. (2012). Burkholderia GanoEB2 powder as biological control of *Ganoderma* in oil palm. MPOB TT No. 507.
- Nurrashyeda, R., Idris, A. S., Madihah, A. Z., Ramle, M., & Kushairi, A. (2011). *Hendersonia GanoEF1 granules for the control of Ganoderma boninense in oil palm*. MPOB TT No. 483.
- Nusaibah, S. A., Idris, A. S., Siti-Nor-Akmar, A., & Sariah, M. (2013). *Determination of Ganoderma volatile organic compounds in oil palm*. MPOB Information Series No. 642.
- Pal, K., & Gardener, B. M. (2006). Biological control of plant pathogens. *The Plant Health Instructor*, 1-25.
- Paterson, R. R. M., Kumar, L., Taylor, S., & Lima, N. (2015). Future climate effects on suitability for growth of oil palms in Malaysia and Indonesia. *Scientific Reports*, 5, 14457.
- Poole, N. F., & Arnaudin, M. E. (2014). The role of fungicides for effective disease management in cereal crops. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 36(1), 1-11.
- Sadoma, M. T., El-Sayed, A. B. B., & El-Moghazy, S. M. (2011). Biological control of downy mildew disease of maize caused by *Peronosclerospora sorghi* using certain biocontrol agents alone or in combination. *Journal of Agriculture Research Kafer El-Sheikh University*, 37, 1-11.
- Sapak, Z., Meon, S., & Ahmad, Z. A. M. (2008). Effect of endophytic bacteria on growth and suppression of *Ganoderma* infection in oil palm. *International Journal of Agriculture Biology*, 10, 127-132.
- Seo, G. S., & Kirk, P. M. (2000). *Ganodermataceae: nomenclature and classification*. In: Flood J, Bridge PD, Holderness M, eds. *Ganoderma Diseases of Perennial Crops*. Wallingford, UK: CABI Publishing, 3-22.

- Shariffah-Muzaimah, S. A., Idris, A. S., Madihah, A. Z., Dzolkhifli, O., Kamaruzzaman, S., and Cheong, P. C. H. (2015). Isolation of actinomycetes from rhizosphere of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) for antagonism against *Ganoderma boninense*. *Journal Oil Palm Research*, 27, 19-29.
- Shariffah-Muzaimah, S. A., Idris, A. S., Madihah, A. Z., Dzolkhifli, O., Kamaruzzaman, S., & Maizatul-Suriza, M. (2017). Characterization of *Streptomyces* spp. isolated from the rhizosphere of oil palm and evaluation of their ability to suppress basal stem rot disease in oil palm seedlings when applied as powder formulations in a glasshouse trial. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 34, 15.
- Singh, G. (1991). *Ganoderma* - The scourge of oil palms in the coastal areas. In: Ariffin D, Sukaimi J. (Ed). *Proceedings of Ganoderma Workshop, Bangi, Selangor, Malaysia*. Kuala Lumpur, Malaysia: Palm Oil Research Institute of Malaysia, 81-97.
- Sundram, S. (2013). First report: Isolation of Endophytic *Trichoderma* from Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) and their *in vitro* antagonistic assessment on *Ganoderma boninense*. *Journal Oil Palm Research*, 25, 368-372.
- Sundram, S., & Idris, A. S. (2008). *Trichoderma* as a Biocontrol agent against *Ganoderma* in oil palm. MPOB TT No. 422.
- Sundram, S., Angel, L. P. L., Tay, B. Y. P., Roslan, N. D., Mohamed Azni, I. N. A., & Idris, A. S. (2016). *Trichoderma virens*, an effective biocontrol agent against *Ganoderma boninense*. MPOB TT No. 587.
- Sundram, S., Meon, S., Idris, A. S., & Othman, R. (2015). Application of arbuscular mycorrhizal fungi with *Pseudomonas aeruginosa* UPMP3 reduces the development of *Ganoderma* basal stem rot disease in oil palm seedlings. *Mycorrhiza*, 25, 387-397.
- Sundram, S., Meon, S., Idris, A. S., & Othman, R. (2011). Symbiotic interaction of endophytic bacteria with arbuscular mycorrhizal fungi and its antagonistic effect on *Ganoderma boninense*. *Journal of Microbiology*, 49, 551-557.
- Thompson, A. (1931). *Stem-rot of the oil palm in Malaya*. Bulletin, Department of Agriculture. Straits Settlements & F.M.S., Science Series, 6.
- Turner, P. D. (1981). *Oil palm diseases and disorders*. Oxford University Press. Kuala Lumpur Malaysia.
- Turner P. D., & Gillbanks, R. A. (2003). *Oil palm cultivation and management*. Kuala Lumpur: The Incorporated Society of Planters.
- Vishwakarma, P., Pandey, A. K., Mishra, P., Singh, P., & Tripathi, N. N. (2015). Enhancement of Shelf Life of Button Mushroom, *Agaricus bisporus* (Higher Basidiomycetes) by Fumigant Application of *Lippia alba* Essential Oil. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 17(1), 87-92.
- Wakefield, E. M. (1920). Diseases of the oil palm in West Africa. *Kew Bulletin*, 306-308.