

Hacia la obtención de materiales más productivos, resistentes a enfermedades y adaptados a las condiciones colombianas*

Toward the Development of More Productive Oil Palm Materials, Highly Resistant to Disease and Better Adapted to Colombian Conditions

* Este documento fue elaborado por Hernán Mauricio Romero Angulo en representación del equipo del Programa de Biología y Mejoramiento de la Palma de Cenipalma.

CENIPALMA

La palma de aceite es la oleaginosa más productiva, con rendimientos hasta 10 veces superiores a los de otras especies productoras de aceite como la soya, la canola, el girasol y otros. Las características fisiológicas y agronómicas de la palma de aceite, junto con la mencionada productividad, han posicionado al aceite de palma como el aceite vegetal de mayor consumo para usos alimenticios a nivel mundial y como materia prima en diferentes industrias y la producción de biocombustibles. Los mayores productores de palma de aceite son Indonesia y Malasia. Colombia es el cuarto productor mundial y el primero en Latinoamérica, con más de 500.000 ha sembradas y una producción anual cercana a 1,5 millones de toneladas de aceite (Fedepalma, 2016).

La productividad del cultivo de la palma en Colombia no es la mejor. Otros países del mundo, particularmente de la región, tienen rendimientos mucho mayores, en buena medida porque en Colombia existe una gran presión de plagas y enfermedades sobre el cultivo. Además, en muchos casos, la palma no ha sido sembrada bajo las mejores condiciones edafoclimáticas y está permanentemente expuesta a diferentes condiciones de estrés, lo cual limita el rendimiento y la productividad del cultivo y representa una amenaza para la sostenibilidad de la agroindustria palmera.

La Figura 1 presenta los principales limitantes del cultivo de la palma de aceite en Colombia y los puntos de mejoramiento. En el cuadro 1 se presentan

los caracteres a mejorar para obtener mayores rendimientos. En el cuadro dos, se encuentran las limitantes de carácter biótico (plagas y enfermedades) y en el cuadro tres las limitantes abióticas (edafoclimáticas). Tal como señala el cuadro dos, las plagas y las enfermedades de la palma, en especial la Pudrición del cogollo, se constituyen como los principales limitantes de este cultivo en Colombia.

En respuesta a las condiciones limitantes a las que está permanentemente expuesto el cultivo de la palma, Cenipalma ha desarrollado prácticas agronómicas que de ser aplicadas de manera correcta, eficiente y oportuna, contribuyen a minimizar el impacto de los factores limitantes. No obstante, condiciones fuera del control de los agricultores relacionadas con el cambio climático han hecho que se incremente la presión de plagas y enfermedades, llegando en algunos casos a producirse eventos catastróficos para la agroindustria, tales como la pérdida de cerca de 35.000 ha del cultivo en la Zona suroccidental de Colombia debido a la enfermedad de la Pudrición del cogollo, cuyo agente causal es *Phytophthora palmivora* (Torres *et al.*, 2016).

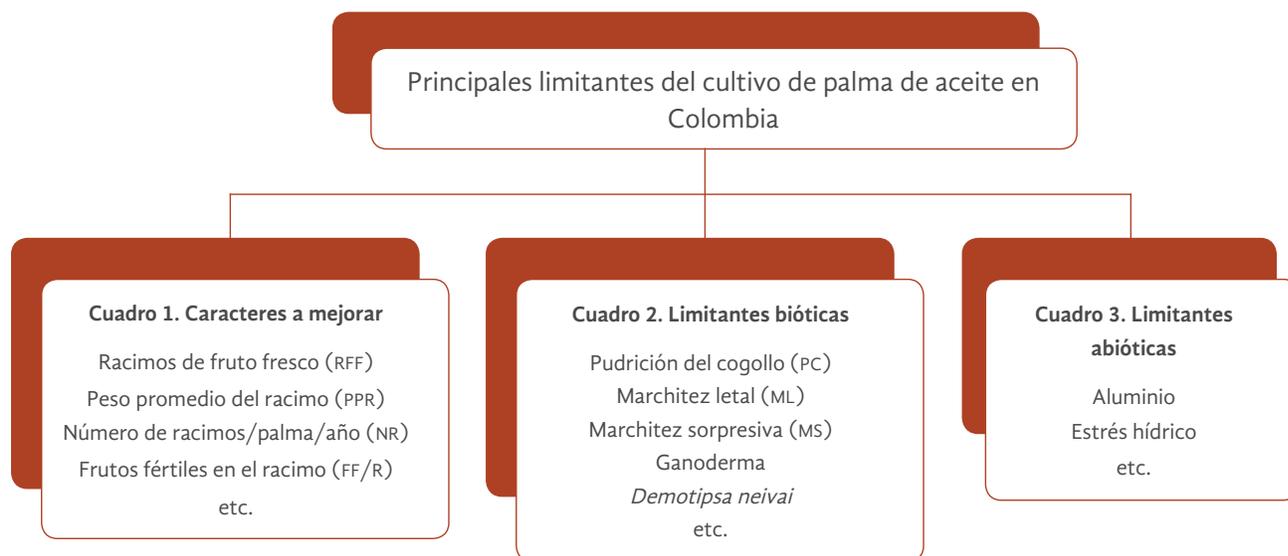
Las condiciones limitantes, tanto de tipo biótico como abiótico, pueden ser manejadas con prácticas agronómicas hasta cierto punto. Sin embargo, para algunos de los factores más limitantes (como el défi-

cit hídrico) es necesario utilizar el mejoramiento genético para producir nuevos cultivares con tolerancia a la sequía. Esta necesidad del mejoramiento genético para responder a las limitantes del cultivo de la palma es mucho más evidente en el caso de la Pudrición del cogollo. Aquí, las prácticas agronómicas son fundamentales, pero no son la solución final cuando se lucha contra un microorganismo tan difícil como *P. palmivora*. En efecto, en todos los cultivos en los cuales se presenta una enfermedad causada por alguna especie del género *Phytophthora*, a pesar de los grandes esfuerzos por mejorar las prácticas agronómicas para luchar contra el patógeno, solamente el desarrollo de cultivares resistentes a la enfermedad ha sido la solución.

El mejoramiento de la palma de aceite

La palma de aceite es una planta monoica, es decir, tiene en un mismo individuo flores masculinas y femeninas separadas entre sí. En este caso, las flores se agrupan en inflorescencias que al ser fecundadas por el polen dan lugar a los racimos de fruta fresca (RFF). De otro lado, la palma es un cultivo perenne de ciclo largo. Esto implica que cumplir con el primer ciclo de mejoramiento y poder liberar un nuevo

Figura 1. Principales limitantes del cultivo de la palma de aceite en Colombia y puntos de mejoramiento.



cultivar con características deseables (por ejemplo la resistencia a una enfermedad) puede tomar entre 25 y 30 años. Los ciclos subsiguientes pueden ser más cortos de acuerdo con la estrategia de mejoramiento que se use, el acceso a fuentes de genes deseables y el éxito en la obtención de buenos parentales con buena capacidad de cruzarse entre sí y generar descendencia adecuada (habilidad combinatoria).

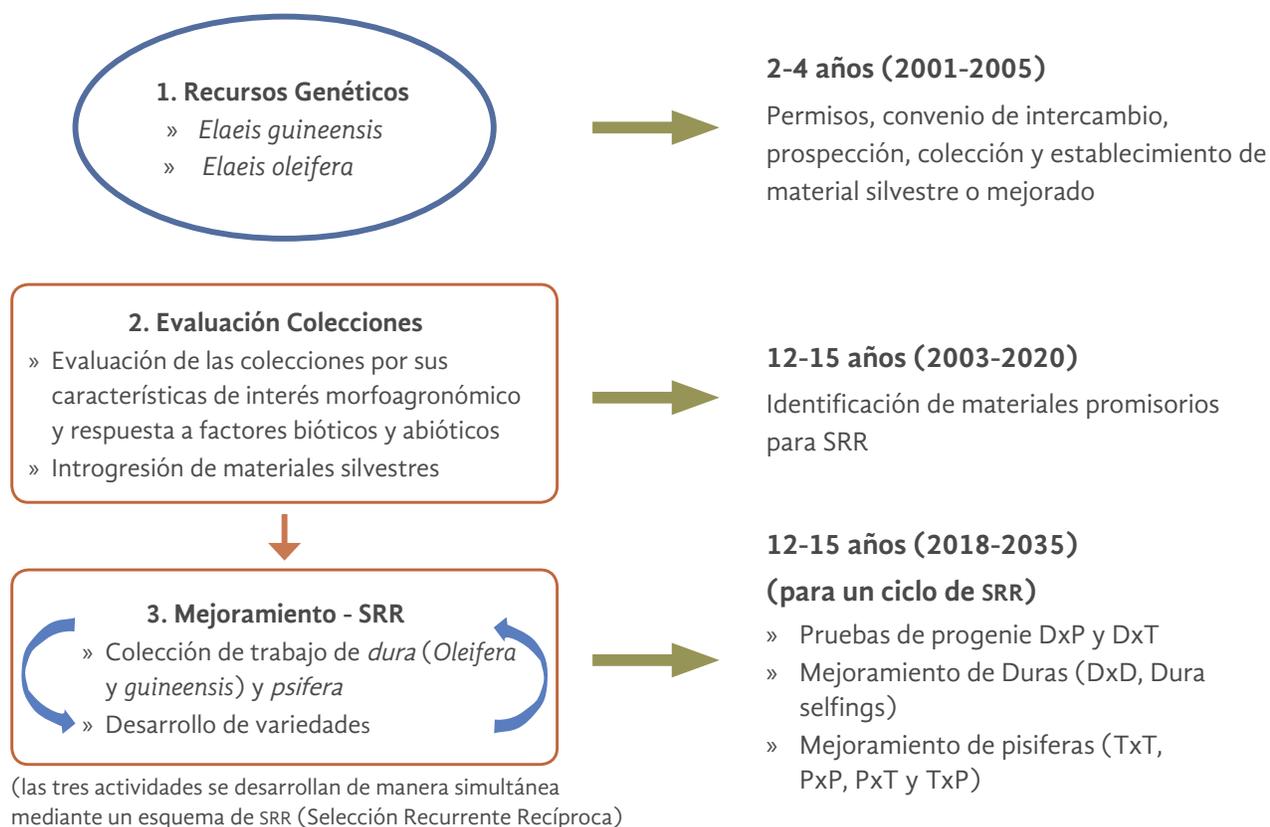
Debido a la naturaleza de las plantas, el mejoramiento de palma se hace a través de un proceso llamado la Selección Recíproca Recurrente (SRR), por el cual se identifican parentales élite, normalmente de tipo *dura* y *pisifera*, que se utilizan en la generación de las plantas *tenera* comerciales. En el primer ciclo de mejoramiento se parte de recursos genéticos colectados en los sitios de origen (palmas silvestres) con los cuales se conforman bancos de germoplasma y colecciones biológicas que serán caracterizados

para identificar los parentales élite. Estos se evalúan a través de pruebas de progenies, en donde aquellos identificados como los “mejores” son utilizados para generar las palmas madre y las fuentes de polen con las cuales se producirán las semillas de las plantas *tenera* comerciales que se siembran en las plantaciones (Figura 2).

El proceso inicia con la adquisición de recursos genéticos y conformación de colecciones. Las colecciones son evaluadas a diferente nivel para identificar materiales promisorios, los cuales después de pasar por pruebas de progenies son utilizados para obtener las plantas *teneras* comerciales que se siembran en las plantaciones. El proceso puede tardar entre 25-30 años en el primer ciclo de mejoramiento. Luego, a través de la Selección Recíproca Recurrente (SRR) se avanzaran los nuevos materiales en ciclos subsiguientes que por lo general son más cortos.

Figura 2. Esquema de mejoramiento de palma de aceite.

Esquema de Mejoramiento en Palma



El programa de mejoramiento de Cenipalma

El gremio palmicultor de Colombia identificó hace más de 25 años al mejoramiento genético como una de las prioridades de investigación para la agroindustria palmera nacional. De esta forma, dentro de la ley que creó el Fondo de Fomento Palmero, quedó establecido el mejoramiento genético como uno de los puntos principales de investigación con los recursos parafiscales del sector palmero colombiano. Con la creación de Cenipalma en 1991 se empezó a configurar la idea de conformar colecciones biológicas de palma de aceite del sector palmero colombiano como primer paso para la obtención de los cultivares altamente productivos, resistentes a plagas y enfermedades y adaptados a las condiciones colombianas; algo que era una gran necesidad de los palmicultores del país. Este deseo se materializó en 2002 cuando se pudo llevar a cabo una expedición a Angola (África) y se conformó la primera colección biológica de palma de aceite de Cenipalma. Posteriormente, se hicieron colectas en Camerún y en diferentes regiones de Colombia, con lo que se ha incrementado el recurso genético como base para el mejoramiento de la palma de aceite en nuestro país (Tabla 1).

Las colecciones biológicas se sembraron en un comienzo en el Centro Experimental Palmar de La Vizcaína y recientemente en los otros campos expe-

rimientales de Fedepalma en el país. Luego de la conformación de las colecciones biológicas, estas han sido sometidas a una caracterización exhaustiva que incluye estudios de diversidad genética, fisiología, comportamiento agronómico, reacción a plagas y enfermedades, producción, rendimiento, calidad de aceite, y producción de compuestos funcionales tales como carotenos, tocotrienoles y tocoferoles. Esta caracterización, que dura al menos 12 años después de siembra en sitio definitivo, ha sido finalizada en sus principales componentes para la colección biológica de Angola y está en proceso para las colecciones de Camerún y de palma americana (*E. oleifera*). Como resultado de este trabajo exhaustivo se han identificado genotipos promisorios en la colección Angola, los cuales están siendo utilizados para pruebas de progenies y así poder definir parentales élite que puedan ser utilizados en la generación de cultivares comerciales, para la palmicultura colombiana.

Búsqueda de fuentes de resistencia a la Pudrición del cogollo

La Pudrición del cogollo (PC) es la enfermedad más devastadora que afecta a la palmicultura colombiana. Fue detectada por primera vez en Surinam en los años 20 y en Panamá en 1927. La enfermedad ha destruido plantaciones en Brasil, Perú, Colombia y Ecuador (Sundram & Intan-Nur, 2017). Hasta el momento no existen fuentes probadas de resistencia a la

Tabla 1. Colecciones biológicas de palma africana (*Elaeis guineensis*) sembradas en el Campo Experimental Palmar de la Vizcaína de Fedepalma. Se presenta el año y país de colecta de cada colección, las subregiones en las cuales se colectó y el número de accesiones por cada región. La accesión fue definida como la población de palmas medias hermanas procedentes de un mismo racimo.

Colección biológica Angola Año de colecta 2002		Colección biológica Camerún Año de colecta 2007	
Región de colecta	Accesiones	Región de colecta	Accesiones
		Abong-Mbang	16
Caixito	9	Edea	8
Sumbe	9	Obala	4
Cabinda	11	Ebolowa	14
Benguela	6	Bafang	12
Uige	9	Mankim	7
Total	44	Total	61

PC en la palma africana (*E. guineensis*). Existen reportes de pruebas de progenies en Ecuador que han mostrado algún grado de resistencia a la enfermedad, sin embargo, una fuente de resistencia alta o medianamente alta, está aún por ser encontrada.

El equipo de Fitopatología de Cenipalma ha desarrollado una metodología para la inoculación de palmas de vivero con *Phytophthora palmivora*, el agente causal de la PC (Figura 3). A través de inoculaciones repetidas de soluciones de esporas en la base de la

hoja flecha se ha logrado reproducir la sintomatología de la enfermedad y se ha logrado causar la PC en estas plantas (Figura 4), con lo cual se tiene una metodología adecuada de selección de materiales.

Para asegurar un buen resultado, se hacen inoculaciones sucesivas con soluciones de esporas en la base de la hoja flecha. Las plantas se mantienen en condiciones adecuadas para el desarrollo de la enfermedad que incluyen humedades relativas altas (HR >80 %) y temperaturas controladas (T <35 °C).

Figura 3. Inoculación de palmas en vivero con soluciones de zoosporas de *Phytophthora palmivora*, agente causal de la PC.

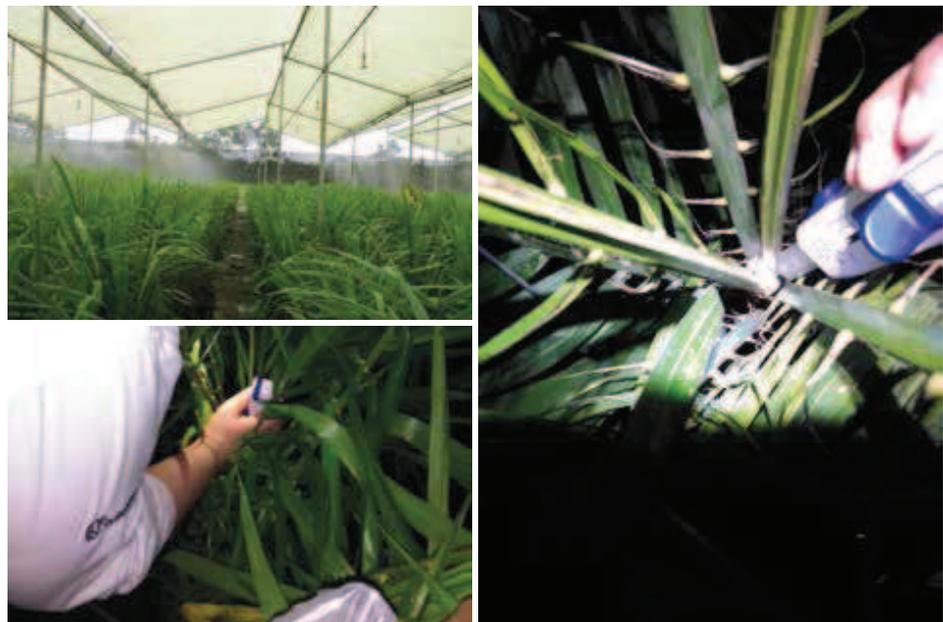


Figura 4. Aparición de síntomas y desarrollo de la PC en plantas de vivero inoculadas con soluciones de esporas de *Phytophthora palmivora*. Se hacen re-inoculaciones sucesivas y las plantas son mantenidas bajo condiciones controladas de HR >80 % y T <35 °C. La respuesta de las plantas a la inoculación se evalúa utilizando la incidencia y la escala de severidad desarrollada por Cenipalma.



En un trabajo colaborativo con Cirad-PalmElite, palmas dura de la colección Angola fueron cruzadas con polen de origen Yangambi (parental probador) de palmas con susceptibilidad a la PC. De esta manera, se cruzaron 6 palmas de cada accesión de la colección para un total de 262 cruzamientos. Estas progenies están siendo seleccionadas por su grado de resistencia a la PC mediante el procedimiento descrito. Hasta el momento, se tienen identificadas progenies susceptibles a la enfermedad y algunas que presentan resistencia media y alta. Así, se están identificando fuentes de resistencia a esta enfermedad a través de una metodología que es sencilla, rápida y con un grado de repetibilidad muy alto.

Alternativas en mejoramiento clásico: retrocruzamientos con híbridos altamente resistentes a la PC y de muy buen desempeño agronómico

A través de una investigación de varios años fue posible identificar híbridos interespecíficos OxG, cruzamiento Coari x La Mé, con alta resistencia a la PC. Un híbrido denominado híbrido 10, después de 9 años de estar sembrado en una zona de alta presión de inóculo, ha mostrado ser altamente resistente a la PC. Hasta el momento no se ha erradicado ninguna palma a causa de dicha enfermedad.

Utilizando estas plantas se abre una oportunidad de obtener genotipos resistentes a la PC que pueden ser entregados a los palmicultores de Colombia a través de dos vías: *i*) la realización de retrocruzamientos de plantas de este híbrido OxG 10 con polen de palmas *E. guineensis* seleccionadas por sus altos rendimientos y porque tienen una aparente resistencia a la PC (media o baja); o *ii*) la introducción de palmas de este híbrido al programa de clonación, cuyos *ramets* (grupo de clones) obtenidos están siendo evaluados para evaluar su resistencia a la PC, utilizando la metodología enunciada antes para la búsqueda de materiales resistentes a la enfermedad. Así, a través de estas dos vías de mejoramiento no tradicional se espera contar con genotipos altamente resistentes y

de buena productividad para entregar a los palmicultores colombianos en el futuro próximo.

Mediante el uso de la tecnología de clonación desarrollada por Cenipalma, se han introducido a este programa de propagación masiva palmas sobrevivientes de las epidemias de PC en Tumaco y en la zona de Puerto Wilches. Estas palmas de la especie *E. guineensis* fueron seleccionadas por haber sobrevivido sin ningún síntoma de la enfermedad, a pesar de que a su alrededor miles de plantas murieron a causa de la PC. Los clones así obtenidos se han probado, tanto *in vitro* (Figura 5) como a nivel de casas de mallas, por su resistencia a *P. palmivora* inoculada de manera controlada. Estos clones con aparente resistencia aún se encuentran en fase de evaluación; no obstante, los resultados preliminares muestran que algunos de ellos son altamente resistentes a la PC (Figura 6) y podrían en poco tiempo ser producidos de manera comercial para ser entregados a los palmicultores colombianos.

El resultado de haber encontrado clones con grados de resistencia tan variables, siendo el *ortet* 57 susceptible y el *ortet* 34 resistente, ha posibilitado la utilización de herramientas moleculares de punta, específicamente una tecnología denominada *RN-Aseq*, para identificar genes responsables de la resistencia contra *P. palmivora* en palma de aceite. Así se abren nuevas alternativas de investigación.

Los clones son inoculados con soluciones de zoosporas de *P. palmivora* y se hace seguimiento a la incidencia y severidad de la enfermedad. La Figura 5 muestra el progreso de la enfermedad en el tiempo y los diferentes niveles de severidad observados para un clon susceptible.

En otro campo de acción, y continuando con el uso de herramientas biotecnológicas, se están utilizando metodologías que incluyen la obtención del genoma completo de 12 aislamientos de *Phytophthora palmivora* de diferentes Zonas Palmeras, y el análisis de la expresión de genes del patógeno que puedan estar involucrados en su patogenicidad (efectores). Con la colaboración del laboratorio del Dr. Sebastian Schornak, del Sainsbury Lab de la Universidad de Cambridge, Inglaterra, se han identificado estos efectores, se tiene

su secuencia y están siendo utilizados para identificar mecanismos de patogenicidad de *P. palmivora* y mecanismos de resistencia de la palma. Con esta tecnología y utilizando técnicas de clonación y transgénesis, se espera desarrollar una herramienta de mejoramiento que permita de manera controlada introducir genes de resistencia a la palma que potencialmente la harían resistentes a la PC por más de 10.000 años.

En este caso se utiliza la incidencia para crear un índice de selección. Así, los clones con media de incidencia mayor a 20 son considerados susceptibles y aquellos cuya incidencia se ubica por debajo de este valor son considerados con alguna resistencia. En

este caso los clones procedentes de la palma (ortet) 57 son susceptibles a la enfermedad, mientras que los del ortet 34 son resistentes.

Conclusiones

Cenipalma se encuentra trabajando desde diferentes frentes para entregar los materiales genéticos que la palmicultura colombiana necesita. Para ello, se cuenta con colecciones biológicas ampliamente caracterizadas en los aspectos moleculares, biológicos, fisiológicos, agronómicos (rendimiento y producción) y de reacción a plagas y enfermedades.

Figura 5. Metodología de inoculación y selección de plantas obtenidas por cultivo de tejidos *in vitro* (clones) a partir de explantes de palmas sobrevivientes a la PC en Tumaco y Puerto Wilches.

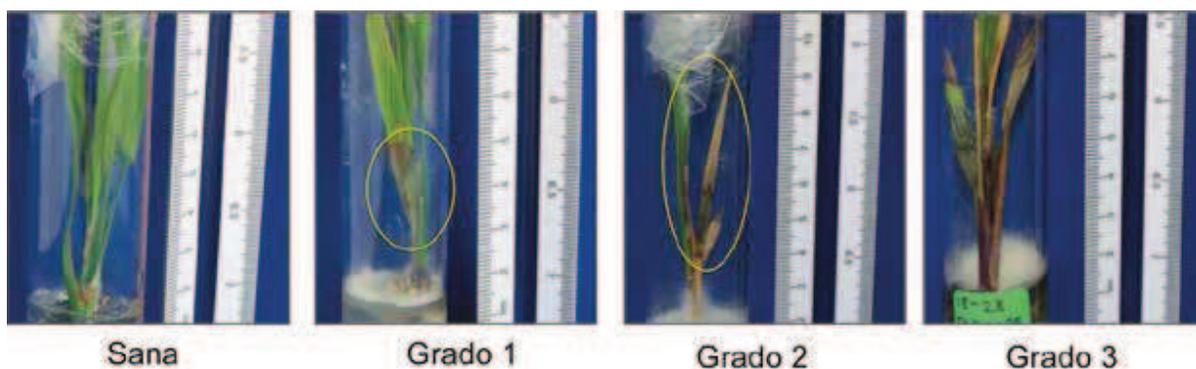
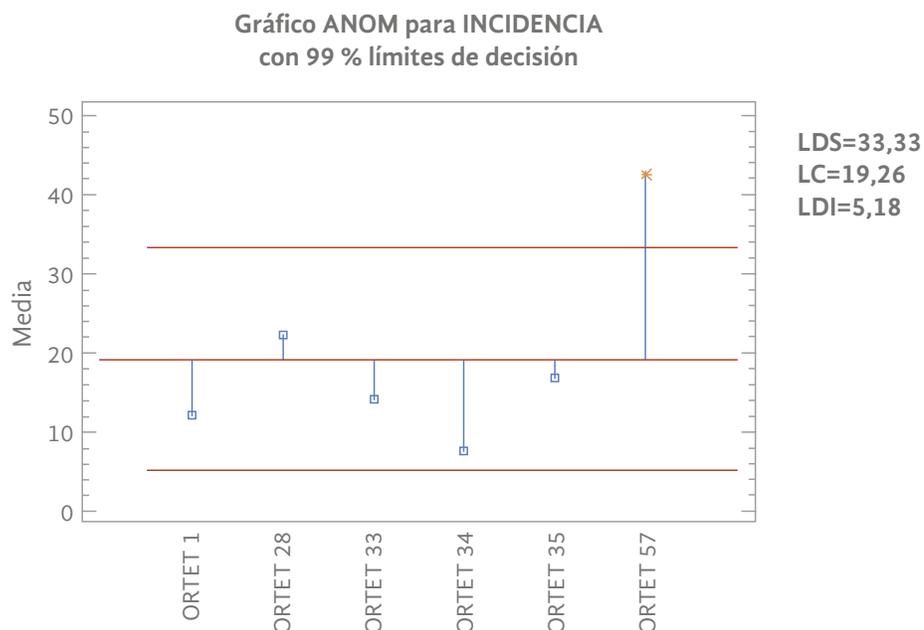


Figura 6. Tamizaje de clones de plantas sobrevivientes a la PC de Tumaco y Puerto Wilches según su resistencia a inoculaciones *in vitro* de zoosporas de *P. palmivora*.



La PC es la principal limitante en la palmicultura en Colombia. Por ello, buena parte de la investigación del grupo de Biología y Mejoramiento de Cenipalma está centrada en identificar las fuentes de resistencia a la PC en las colecciones biológicas y el mecanismo para incorporar dicha resistencia de manera rápida y eficiente en los cultivares de palma que se siembran en Colombia. Para ello se hacen investigaciones con inoculaciones controladas, análisis masivo de la expresión de genes en respuesta al patógeno (RNAseq) y estudios para determinar las proteínas efectoras que produce el patógeno y son responsables de la alta patogenicidad de *P. palmivora*. Utilizando todas estas tecnologías de punta esperamos que Cenipalma muy

pronto logre encontrar las fuentes de resistencia a la PC, permitiendo desarrollar una palmicultura cada vez más sostenible en Colombia.

Agradecimientos

A los miembros presentes y pasados del programa de Biología y Mejoramiento de Cenipalma, por todo su esfuerzo y dedicación para lograr un buen desarrollo de las investigaciones realizadas. Al Fondo de Fomento Palmero (FFP), administrado por Fedepalma, por la financiación de la investigación de Cenipalma.

Referencias

- Fedepalma (2016). *Anuario estadístico 2016. La Agroindustria de la Palma de Aceite en Colombia y en el Mundo, 2011-2015*. Fedepalma: Bogotá.
- Sundram, S., & Intan-Nur, A. M. (2017). South American Bud rot: A biosecurity threat to South East Asian oil palm. *Crop Protection, 101*, 58-67.
- Torres, G. A., Sarria, G. A., Martínez, G., Varon, F., Drenth, A., & Guest, D. J. (2016). Bud rot caused by *Phytophthora palmivora* a destructive emerging disease of oil palm. *Phytopathology, 106*, 320-329.