

LA BIOTECNOLOGIA COMO HERRAMIENTA PARA AUMENTAR LA
PRODUCTIVIDAD DE LA PALMA DE ACEITE EN COLOMBIA.
UNA REVISIÓN ANALITICA EN CONTRA DE LA PUDRICION DEL COGOLLO.

Elaborado por: JIMMY HEDWARD SOCHA SANCHEZ.

Dirigido por: JOSÈ CAMILO TORRES

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD)
ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE.
BIOTECNOLOGÍA AGRARIA.

BOGOTÁ.

2017.

RESUMEN.

El objetivo de este trabajo es exponer algunos de los avances actuales de la investigación en el mundo en palma de aceite, dada la importancia que tiene este cultivo a nivel mundial y específicamente en la agroindustria colombiana, y que tienen como finalidad la productividad y competitividad del mismo, por lo cual, la biotecnología se ha convertido en una herramienta fundamental, recortando el tiempo y los costos que toma obtener un material deseado. Mediante la identificación y uso de marcadores moleculares para la búsqueda de genes que codifiquen características fenotípicas deseadas como la calidad de aceite, alta producción, tolerancia o resistencia a plagas y enfermedades, la susceptibilidad de plántulas a sufrir alguna anomalía durante su desarrollo, entre otras, pudiendo obtener así mediante embriogénesis somática y transformación genética materiales mejorados denominados “Elite”, los cuales han de ser desarrollados teniendo en cuenta además, los efectos que trae consigo el cambio climático no solo en la genética de la palma sino en la de las poblaciones de los microorganismos del suelo.

La palmicultura Colombiana se ha visto seriamente afectada por la enfermedad de la pudrición del cogollo o P.C. la cual ha arrasado con más de 75.000 hectáreas en diferentes zonas del país (Martínez, 2013) y pérdidas económicas estimadas en USD 250 millones (Mosquera & Lopez., 2017). gracias a la investigación que se viene desarrollando en el país, se ha logrado establecer el agente causal, *Phytophthora palmivora* (Martínez et al., 2008) y se ha determinado el manejo y las acciones más adecuadas para su manejo y control (Silva & Martínez., 2009, Noreña et al., 2011)

como las buenas prácticas agrícolas entre las cuales se encuentra el uso de híbridos interespecíficos (OxG).

Para realizar este trabajo se utilizó una revisión de artículos indexados a nivel mundial y se encuentran algunas investigaciones cuyos resultados son interpretados desde el contexto colombiano.

Palabras Clave: Biotecnología, Embriogénesis somática, Genes, Híbridos, Ingeniería genética, Marcador molecular, Secuenciación.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	2
I. INTRODUCCION.....	9
2.1. Objetivo general:	11
2.2. Objetivos específicos:	11
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
3.1. Origen y Distribución de la palma de aceite.....	13
3.2. Clasificación taxonómica.....	15
3.3. La palma de aceite en Colombia.....	15
3.4. Enfermedad de la pudrición del cogollo.....	16
3.5. Phytophthora palmivora.....	21
3.6. Comportamiento de Híbridos interespecíficos E. oleífera x E. guineensis en Colombia.....	23
3.7. Avances multidisciplinarios enfocados en palma de aceite Elaeis guineensis.....	28
3.7.1. Cultivo de tejidos.....	28
3.7.2. Desarrollo de la palma de aceite.....	32
3.7.4. Diferenciación de inflorescencias como estrategia para alcanzar mayor productividad.....	37
3.7.5. Las tecnologías de la información y comunicación (TICs) para evaluar de manera holística el comportamiento de la Especie.....	37
3.8. La palma de aceite frente al cambio climático.....	39
3.9. La Biotecnología en la palma desde un contexto colombiano.....	40
IV. CONCLUSIONES.....	44
V. BIBLIOGRAFIA.....	48

INDICE DE FIGURAS.

Fig. 1. Inflorescencia masculina. Palmicultura orgánica, cartilla ICA, (2015).	13
Fig. 2. Inflorescencia femenina. Palmicultura orgánica, cartilla ICA, (2015).....	14
Fig. 3. Aspecto general de plantaciones afectadas y sanas. A, Plantación saludable. B, Plantación destruida en Tumaco. C, Detalle del aspecto de una palma enferma. D, Fotografía aérea de una plantación afectada. E, Palmas afectadas. F, Detalle del aspecto de una palma saludable. Fuente: Torres, et al. (2016)	17
Fig. 4. Distribución de la epidemia de pudrición delo cogollo causada por <i>Phytophthora palmivora</i> en Colombia. Incidencias baja, media y alta son representadas por las letras L, M y H, respectivamente. El tamaño de la letra representa el tamaño del área afectada. Las más pequeñas representan menos de 1.000 ha afectadas, las más grandes representan a más de 10.000 ha, afectadas y las medianas representan rangos entre estos valores. Fuente: Torres et al. (2016).....	19
Fig. 5. Síntomas observados en palmas afectadas por la enfermedad de la pudrición del cogollo. A y B, Lesiones presentes en tejido joven o en hojas sin abrir conocidas como “Lanza”. C, Infecciones secundarias manifestadas como un incremento en el número de lesiones más grandes en hojas nuevas. D, Si las condiciones favorecen el desarrollo de la enfermedad, estas lesiones pequeñas pueden afectar otros tejidos u hojas cercanas conduciendo a nuevas infecciones. E, Cuando la hoja “lanza” abre el tejido necrótico puede caer. F, En estados avanzados de la enfermedad, la hoja “lanza” es afectada completamente con una apariencia seca de las hojas externas. G, Cogollo extirpado con lesiones avanzadas en las hojas “lanza” en desarrollo. H, acercamiento de las hojas “lanza” afectadas; nótese el aspecto de la pudrición húmeda. I y J, lesiones internas en el tejido más joven; de esta área afectada es	

posible aislar a *P. palmivora*. La barra representa una escala de 3 cm de longitud. Fuente: Torres et al. (2016). 21

Fig. 6. Estructuras asexuales de *Phytophthora palmivora*. A y D, esporangios en tejidos de palma de aceite. B, Esporangio en medio de cultivo. C, Clamidospora en tejido de palma de aceite. Fuente: Torres et al. (2016). 23

Fig. 7. Obtención del híbrido interespecífico *E. oleifera* x *E. guineensis*. (OxG). Romero, H. (2013) 25

Fig. 8. Grupo de palmas *E. guineensis*, sobrevivientes a la epidemia de la P.C. en Tumaco-Nariño. Alegría, et al. (2015). 26

Fig. 9. Embriogénesis somática y regeneración de plántulas de inflorescencias masculinas inmaduras de palma de aceite (*E. guineensis* Jacq). a Inflorescencia inmadura colectada de la axila de una hoja de palma de aceite. b Inflorescencia masculina después de ser removida de la espata interna y externa. c Tejido hinchado e iniciación de callos en explantes cultivados en medios suplementados con auxinas. d Inducción de callos embriogénicos -note el desarrollo de callo globular. e Germinación de embriones somáticos. f Embriogénesis somática asincrónica –note los estados de corazón y torpedo. g Regeneración de plántula de embriones somáticos. h Enraizamiento de plántula regenerada. i Endurecimiento de plántula de palma de aceite. Fuente: Jayanthi, et al. (2015). 29

Fig. 10. Esquema representativo de varias formas de micropropagación de palma de aceite mediante embriogénesis somática. Fuente: Duval Y, et al. (1995) 30

Fig. 11. Duración y etapas del cultivo en sistemas solido (gel) y líquido para producir 5000 brotes. Fuente: Soh, A. et al. (2011). 31

Fig. 12. Tipos de frutos según el espesor del cuesco. Fuente: Singh, et al. (2013). 32

Fig. 13. Tipos de fruto de palma de aceite según el color. Fuente: Singh, et al. (2014) 33

Fig. 14. Estrategia experimental para la identificación y caracterización de los genes que despliegan un patrón de expresión "mantled". Fuente: Billote N, *et al.* (2007) 35

Fig. 15. Cortes transversales de hojas, (a) planta C3, (b) planta C4. Fuente: Benavides A. (2003) 36

INDICE DE GRAFICAS.

Grafica 1. Rendimiento potencial de Racimos de Fruta Fresca (ton/año), de los materiales híbridos comercializados en Colombia. Fuente: Cenipalma 2013.....	27
Grafica 2. Rendimiento potencial de extracción de aceite de híbridos comercializados en Colombia. Fuente: Cenipalma 2013.....	27
Grafica 3. Costos de producción de palma de aceite en Colombia, Malasia e Indonesia 2010-2015. Fuente: Fry, 2016.	42

I. INTRODUCCION.

Con un promedio de casi 4 toneladas de aceite, y 0.5 toneladas de aceite de palmiste por hectárea por año, la palma de aceite africana *Elaeis guineensis* es el cultivo oleaginoso con mayor rendimiento en el mundo, (Fedepalma, 2017).

En Colombia, la palma de aceite africana representa a nivel interno el primer cultivo agroindustrial, siendo en América el primer productor y el cuarto a nivel mundial después de Indonesia, Malasia y Tailandia; Sin embargo, su producción se ha visto afectada principalmente por la enfermedad de la Pudrición del Cogollo (PC), causada por (*Phytophthora palmívora*) la cual ha generado la pérdida de más de 75.000 Hás en las distintas zonas productoras del país (Martínez *et al.* 2013).

Dada su importancia para el sector agropecuario, se hace necesario indagar sobre el estado actual de los avances de la investigación en palma de aceite, las cuales han permitido entre otros, la identificación de genes entre los que destacan los asociados con espesor del cuesco (dura, tenera, pisifera) descritos por Beirnaert & Vanderweyen 1941 (citados por Babu *et al.* 2017) y que es un factor codominante heredado monogenéticamente (Singh *et al.* 2013), la identificación del agente causal de la enfermedad de la pudrición del cogollo (PC) *Phytophthora palmívora*, (Martínez, Sarria, Torres, Varón, Ariza, Rodríguez. 2008), el desarrollo de híbridos interespecíficos tolerantes a la enfermedad de la PC (Navia, Restrepo y Romero,2014; Barba,2016), la codificación del gen SHELL para el tipo de fruto de la palma de aceite (Singh *et al.* 2013), la identificación del marcador molecular “Karma”, para descartar las plántulas provenientes de un cultivo de tejidos que son susceptibles a sufrir anomalías (Meilina *et al.* 2015), genes

relacionados con la altura de la palma, el contenido de ácidos grasos y lipasa (Montoya *et al.* 2014; Pootakham *et al.* 2015), los genes asociados al crecimiento del estípide del género *Elaeis guineensis* (Lee *et al.* 2015), la secuenciación de ADN de forma rápida mediante las tecnologías de secuenciación de nueva generación SNG, Rival y Jaligot (citados por Rival,2017).

Delimitacion del problema.

Con un promedio de casi 4 toneladas de aceite, y 0.5 toneladas de aceite de palmiste por hectárea por año, la palma de aceite africana *Elaeis guineensis* es el cultivo oleaginoso con mayor rendimiento en el mundo, (Fedepalma, 2017).

En Colombia, la palma de aceite africana representa a nivel interno el primer cultivo agroindustrial, siendo en América el primer productor y el cuarto a nivel mundial después de Indonesia, Malasia y Tailandia; Sin embargo, su producción se ha visto afectada principalmente por la enfermedad de la Pudrición del Cogollo (PC), causada por (*Phytophthora palmívora*) la cual ha generado la pérdida de más de 75.000 Hás en las distintas zonas productoras del país (Martínez *et al.*, 2013). Dada su importancia para el sector agropecuario, se hace necesario indagar sobre el estado actual de los avances de la investigación en palma de aceite en el mundo para que en contexto se puedan realizar propuestas destinadas a la disminución de pérdidas en el sector agrario colombiano. En este sentido y teniendo en cuenta la importancia que tiene la palma en el contexto Nacional los objetivos de este trabajo fueron:

II. OBJETIVOS.

2.1. Objetivo general:

- Realizar una revisión analítica bibliográfica de investigaciones de relevancia biotecnológica a nivel mundial de palma de aceite africana, para así conseguir delimitar alternativas en el contexto colombiano que redunden en aumento de productividad, resistencia a plagas y enfermedades y al cambio climático.

2.2. Objetivos específicos:

- Revisar los avances y aportes de las investigaciones más relevantes a nivel mundial, que han contribuido al mejoramiento de la palma de aceite.
- Realizar una revisión analítica bibliográfica de las investigaciones colombianas más importantes en cuanto a la enfermedad de la pudrición del cogollo.
- Discutir el estado actual de la biotecnología en el sector palmero en Colombia comparado con el contexto mundial

Metodología:

Se realizó una revisión analítica bibliográfica de 73 fuentes bibliográficas indexadas evaluando las aplicaciones biotecnológicas que se han desarrollado para cualificar la producción de aceite de palma en el mundo particularizando en Colombia con el objetivo de generar propuestas que tiendan al desarrollo de este producto en el país.

III. REVISIÓN DE LITERATURA.

3.1. Origen y Distribución de la palma de aceite.

La palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), es una planta monocotiledónea, arbustiva, leñosa, sin ramificaciones, con un único meristemo apical que produce dos (2) hojas por mes, presentando así una corona consistente de entre 40 y 60 hojas, cada una entre 5 a 8 metros de longitud, presenta inflorescencias masculinas y femeninas (Fig. 1 y 2), con un fruto de forma ovoide tipo drupa dispuesto en racimos.



Fig. 1. Inflorescencia masculina. Palmicultura orgánica, cartilla ICA, (2015).



Fig. 2. Inflorescencia femenina. Palmicultura orgánica, cartilla ICA, (2015)

El cultivo de palma fue nombrado por primera vez por Nicholas Jacquin en 1763, de ahí toma el nombre de *Elaeis guineensis* Jacq. La producción de palma africana (*Elaeis guineensis*), proviene de la zona tropical lluviosa de la región oriental de África. (Corley, 2009), los principales productores son Indonesia y Malasia que aportan el 85% de la producción mundial, América produce 2.8 millones de toneladas y África 2.2 millones de toneladas (European Palm Oil Alliance, 2014).

Finalmente cabe señalar que dentro de la problemática actual del cultivo de palma está la enfermedad de la pudrición del cogollo, que en Colombia ha afectado más de 100.000 hectáreas en las principales zonas productoras, Tumaco y Puerto Wilches, causando pérdidas en más de un billón de pesos (Fedepalma, 2015).

3.2. Clasificación taxonómica.

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Subclase: Commelinidae

Orden: Arecales

Familia: Arecaceae

Tribu: Cocoseae

Subtribu: Elaeidinae

Subfamilia: Coryphoideae

Género: *Elaeis*

Especie: *Elaeis guineensis* (Jacquin, 1763)

3.3. La palma de aceite en Colombia.

En Colombia, la palma de aceite africana representa a nivel interno el primer cultivo agroindustrial, siendo en América el primer productor y el cuarto a nivel mundial después de Indonesia, Malasia y Tailandia. Según (Fedepalma, 2017) la producción de aceite de palma africana en el año 2016 fue de 1.143.446 toneladas, con una variación negativa del 10.2%, con

respecto al 2015 donde la producción alcanzo 1.273.842 toneladas. Se estima que se tienen 512.076 hectáreas sembradas (Fedepalma, 2017) representando el 6% del PIB Agropecuario, generando 110.000 empleos directos y una cifra casi igual de manera indirecta, y con cerca de 6000 palmicultores.

Sin embargo, la enfermedad de Pudrición del Cogollo causada por el pseudohongo (*Phytophthora palmívora*), es actualmente la mayor limitante en su producción, la cual ha generado la pérdida de más de 75.000 Hás en las distintas zonas del país (Martínez, 2013), (Figs. 3 y 4) y pérdidas económicas estimadas en USD 250 millones (Mosquera & López, 2017).

3.4. Enfermedad de la pudrición del cogollo.

Para determinar el agente causal de la pudrición del cogollo (PC), factores bióticos y abióticos han sido tenidos en cuenta en investigaciones a nivel mundial según Benitez (2014), quien hace un recuento de la historia de la enfermedad desde Reinking en 1927, hasta Martínez, (2008).

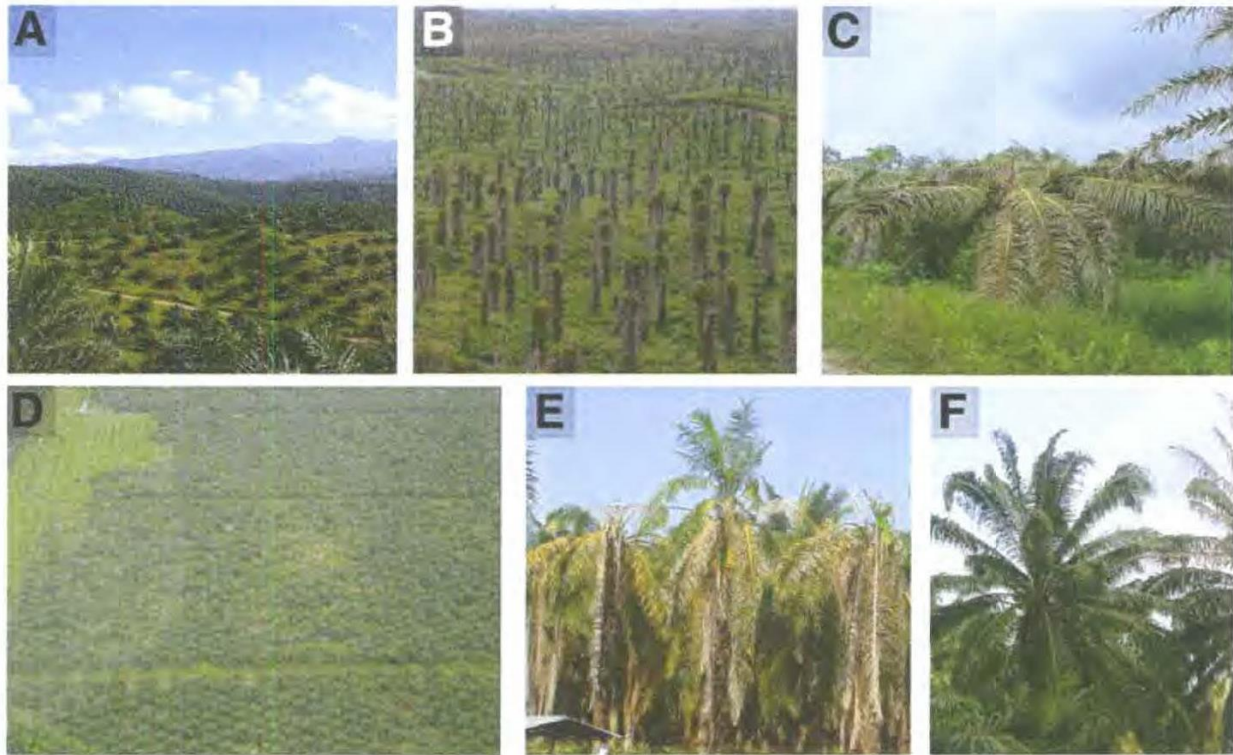


Fig. 3. Aspecto general de plantaciones afectadas y sanas. **A,** Plantación saludable. **B,** Plantación destruida en Tumaco. **C,** Detalle del aspecto de una palma enferma. **D,** Fotografía aérea de una plantación afectada. **E,** Palmas afectadas. **F,** Detalle del aspecto de una palma saludable. Fuente: Torres, et al. (2016)

En Colombia desde 1991, el Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma), ha dedicado esfuerzos en la investigación de la enfermedad de la pudrición del cogollo (PC), resultado de este trabajo liderado por el Doctor Gerardo Martínez López, se produjo en el año 2008, con la identificación del agente causal de la enfermedad de pudrición del cogollo, un pseudohongo *Phytophthora palmivora*, y que después de varias pruebas ha sido confirmado como el responsable de la enfermedad, (Torres *et al.* 2016), al igual que el proceso de infección (Sarria *et al.* 2016).

Resultado de este trabajo, Cenipalma diseño la escala de severidad (ver Tabla 1), que permite identificar el avance de la enfermedad en cultivo, y está determinada en el porcentaje de área dañada al costado de la flecha (Figura 5), teniendo en cuenta que se debe tomar la flecha más joven y con una longitud mayor a 30 cm, considerando el costado de la flecha con mayor afección.

Desde la identificación del causante de la enfermedad de pudrición del cogollo (PC) el pseudohongo *Phytophthora palmivora* (Martínez, Sarria, Torres, Varón, Ariza, Rodríguez, 2008) se han generado herramientas

Tabla 1. Escala de Severidad de la Pudrición del Cogollo. Cenipalma, 2009.

Grados de severidad	% área afectada de la flecha
0	Carece de lesiones, la flecha muestra vigor y sanidad
1	Las lesiones ocupan desde el 0.1% hasta el 20% del área de la flecha.
2	Las lesiones ocupan desde el 20.1% hasta el 40% del área de la flecha.
3	Las lesiones ocupan desde el 40.1% hasta el 60% del área de la flecha.
4	Las lesiones ocupan desde el 60.1% hasta el 80% del área de la flecha.
5	Las lesiones ocupan desde el 80.1% hasta el 100% del área de la flecha.
Cráter	El proceso de emisión de flechas se ha interrumpido, las palmas carecen de tejidos jóvenes.

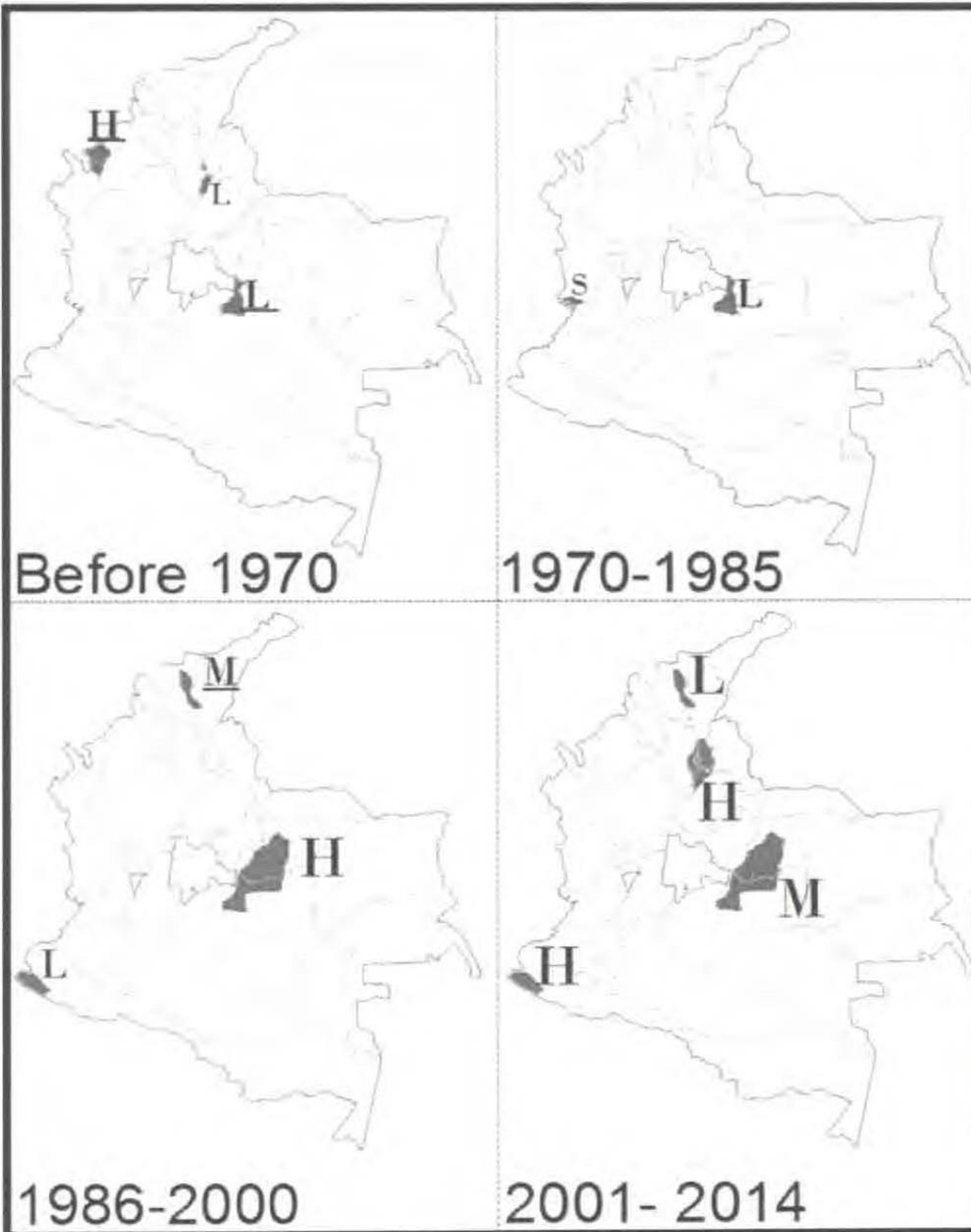


Fig. 4. Distribución de la epidemia de pudrición delo cogollo causada por *Phytophthora palmivora* en Colombia. Incidencias baja, media y alta son representadas por las letras L, M y H, respectivamente. El tamaño de la letra representa el tamaño del área afectada. Las más pequeñas representan menos de 1.000 ha afectadas, las más grandes representan a más de 10.000 ha, afectadas y las medianas representan rangos entre estos valores. Fuente: Torres et al. (2016).

para los palmicultores para su manejo como: el paquete integrado de PC (Silva & Martínez., 2009, Noreña, Aya, Lemus, Torres, Varón, Martínez, 2011) que se enfoca en un manejo preventivo adoptando las buenas prácticas agronómicas y culturales dentro de las que señala: la selección de material libre de PC, contar con un buen drenaje antes de iniciar la plantación, seguimiento a niveles freáticos y análisis de información meteorológica diseño de drenajes, relación de la aparición de la enfermedad de PC con períodos de alta precipitación (Martínez, Sarria, Torres, Varón 2010); así mismo el monitoreo y la remoción de áreas infectadas a través de cirugías en estados tempranos de la enfermedad y su cicatrización (Martínez G., 2010). También se ha tenido en cuenta otros factores predisponentes como las propiedades químicas del suelo y sus relaciones con la enfermedad de la PC (Cristancho, Alfonso y Molina., 2012) y el manejo de la escala de severidad (Cenipalma). El mismo manejo integrado se recomienda para Ecuador (Torres E., 2016).

Con respecto a la PC, Arias, Beltrán, Guerrero, Sánchez (2014) trabajando las tecnologías para el manejo integrado de la PC, validadas por Cenipalma en las zonas Central, Oriental y Norte, obtuvieron que la incidencia de PC estuvo en 0.5% y que donde el valor de la incidencia acumulada esta sobre el 20%, es decir los grados en la escala de severidad es de 3, lo mejor es eliminar esas plantas y de esta manera se contribuye cortando el ciclo de la enfermedad.

Otra herramienta que también contribuye con el manejo de la enfermedad de la pudrición del cogollo (*Phytophthora palmivora*) es la vigilancia epidemiológica que realiza el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), con la resolución ICA 4170 de diciembre de 2014, que regula el manejo *In situ* de la P.C.

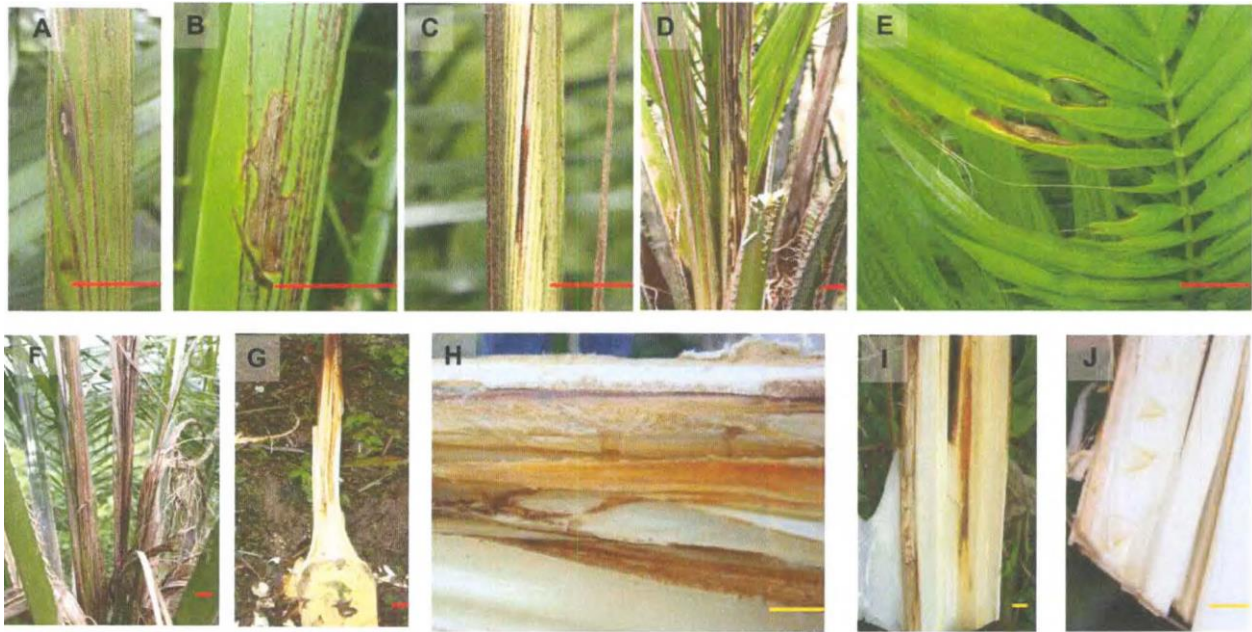


Fig. 5. Síntomas observados en palmas afectadas por la enfermedad de la pudrición del cogollo. **A y B,** Lesiones presentes en tejido joven o en hojas sin abrir conocidas como “Lanza”. **C,** Infecciones secundarias manifestadas como un incremento en el número de lesiones más grandes en hojas nuevas. **D,** Si las condiciones favorecen el desarrollo de la enfermedad, estas lesiones pequeñas pueden afectar otros tejidos u hojas cercanas conduciendo a nuevas infecciones. **E,** Cuando la hoja “lanza” abre el tejido necrótico puede caer. **F,** En estados avanzados de la enfermedad, la hoja “lanza” es afectada completamente con una apariencia seca de las hojas externas. **G,** Cogollo extirpado con lesiones avanzadas en las hojas “lanza” en desarrollo. **H,** acercamiento de las hojas “lanza” afectadas; nótese el aspecto de la pudrición húmeda. **I y J,** lesiones internas en el tejido más joven; de esta área afectada es posible aislar a *P. palmivora*. La barra representa una escala de 3 cm de longitud. Fuente: Torres et al. (2016).

3.5. *Phytophthora palmivora*.

Los oomicetos, grupo de patógenos a los que pertenece *Phytophthora palmivora* son pseudohongos que se caracterizan por que su pared celular se compone principalmente de celulosa, en los hongos verdaderos la pared celular es compuesta principalmente de quitina, además, los oomicetos producen quitina sintetasa que se activa en el momento del inicio de la infección. *Phytophthora* tiene la ventaja de generar estructuras reproductivas como zoosporas y

esporangios a corto plazo para su diseminación, además cuenta con oosporas y clamidosporas (Figura 6), que le permiten su sobrevivencia a largo plazo (Schornack, 2015), secretan y liberan efectores (grupo de proteínas) dentro de las células del hospedante; estas proteínas suprimen la inmunidad de la planta y promueven la enfermedad. (Schornack *et al.* 2009). La secuenciación del genoma de *P. palmivora* permitió identificar genes que codifican efectores semejantes con *Phytophthora infestans*, agente causal de la gota de la papa, conociendo las proteínas blanco de esos efectores, se requiere conocer los receptores inmunes capaces de detectar los efectores de *P. palmivora* o sus actividades en el hospedero (Vleeshouwers *et al.* 2011). Los tipos comunes de receptores inmunes son proteínas denominadas NB-LRR, que están presentes en todas las plantas superiores. De acuerdo a Schornack (2016), para determinar si el gen receptor inmune de la papa tiene la capacidad de interferir el proceso de infección de *Phytophthora palmivora* en palma de aceite, el mismo puede ser transferido a esta última.

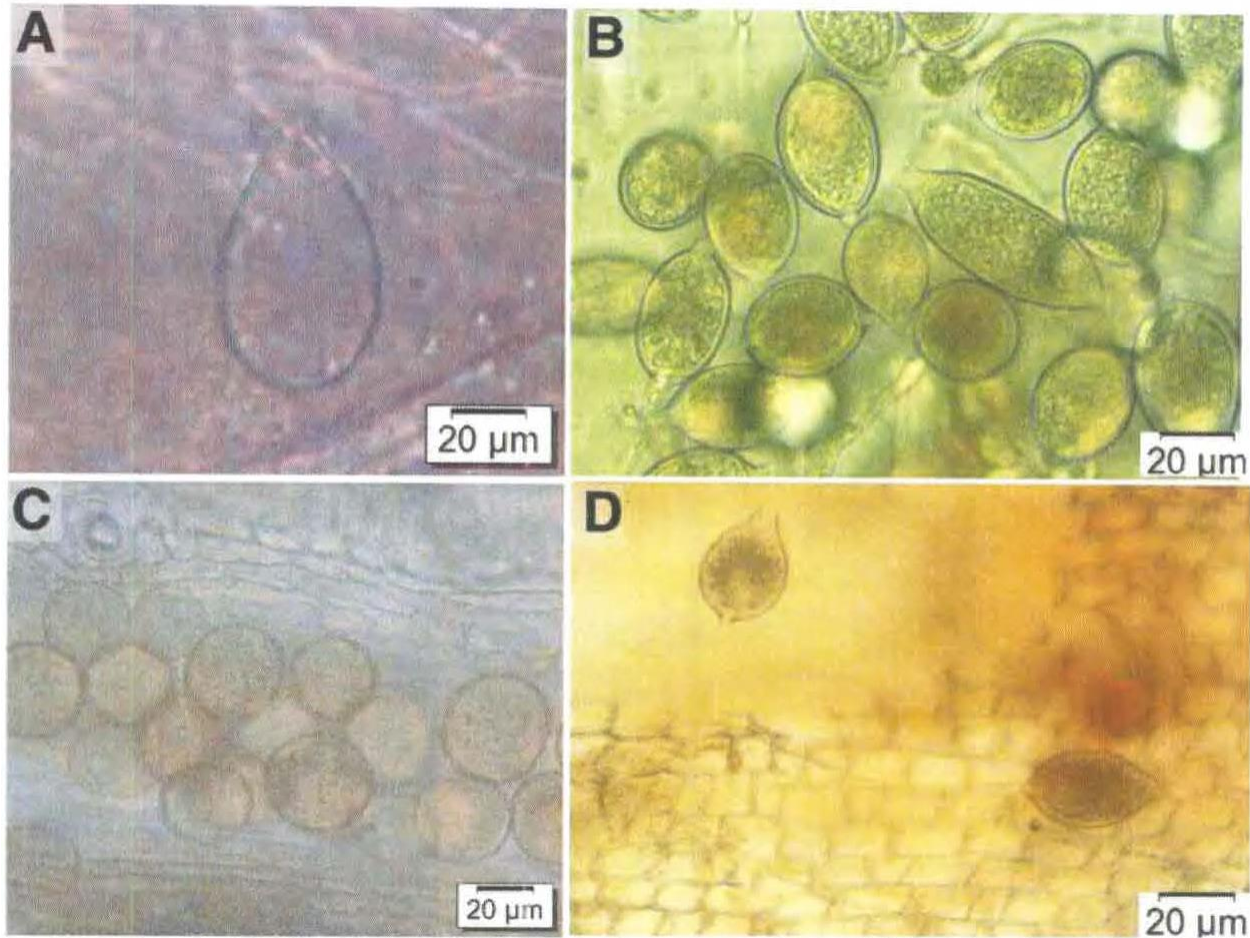


Fig. 6. Estructuras asexuales de *Phytophthora palmivora*. **A** y **D**, esporangios en tejidos de palma de aceite. **B**, Esporangio en medio de cultivo. **C**, Clamidospora en tejido de palma de aceite. Fuente: Torres et al. (2016).

3.6. Comportamiento de Híbridos interespecíficos *E. oleífera* x *E. guineensis* en Colombia

El desarrollo del material híbrido (*Oleífera* x *Guineensis*) (Figura 7.), se debe a la tolerancia que ha mostrado frente a la enfermedad de la pudrición del cogollo (PC), la cual es transmitida por la especie *E.oleífera*. De acuerdo con (Fedepalma, 2016) en material híbrido se tienen sembradas 64.418 Hás que equivalen al 12.58 % del total de área sembrada en el país. Dentro de los híbridos

interespecíficos *E. oleífera* x *E. guineensis*, con mayor uso en Colombia, se encuentran Coarí x La Mé; Coarí x Pobe y Taisha x Avros, debido a su tolerancia a la enfermedad de PC. (Navia, Restrepo, Romero 2014) y (Barba, 2016) encontraron en Ecuador tolerancia a pudrición de PC con introgresión de genes con un 25% de *E. oleífera* y 75 % de Dura Deli X Dura Taisha).

Con el objetivo de determinar la susceptibilidad y resistencia de material a la enfermedad de pudrición del cogollo (PC) Cenipalma evaluó durante 6 años el comportamiento de material proveniente de 19 progenies tipo Dura *E. guineensis* y 10 progenies de híbridos interespecíficos (*E. oleífera* x *E. guineensis*) Coarí x La Mé en el municipio de Tumaco (Nariño) suroccidente de Colombia que es una zona afectada a causa de la PC (Figura 8). Los resultados obtenidos se midieron teniendo como referencia la escala de severidad. Al término de la investigación las progenies tipo Dura *E. guineensis*, presentaron en la escala de severidad grados (3, 4 y 5) en menos de dos años con una incidencia mayor al 90%, y con respecto al material híbrido su máximo valor en la escala de severidad fue el grado 2, lo que demuestra la superioridad del material híbrido sobre *E. guineensis* frente a la tolerancia a la enfermedad de la PC (Navia et al., 2014).

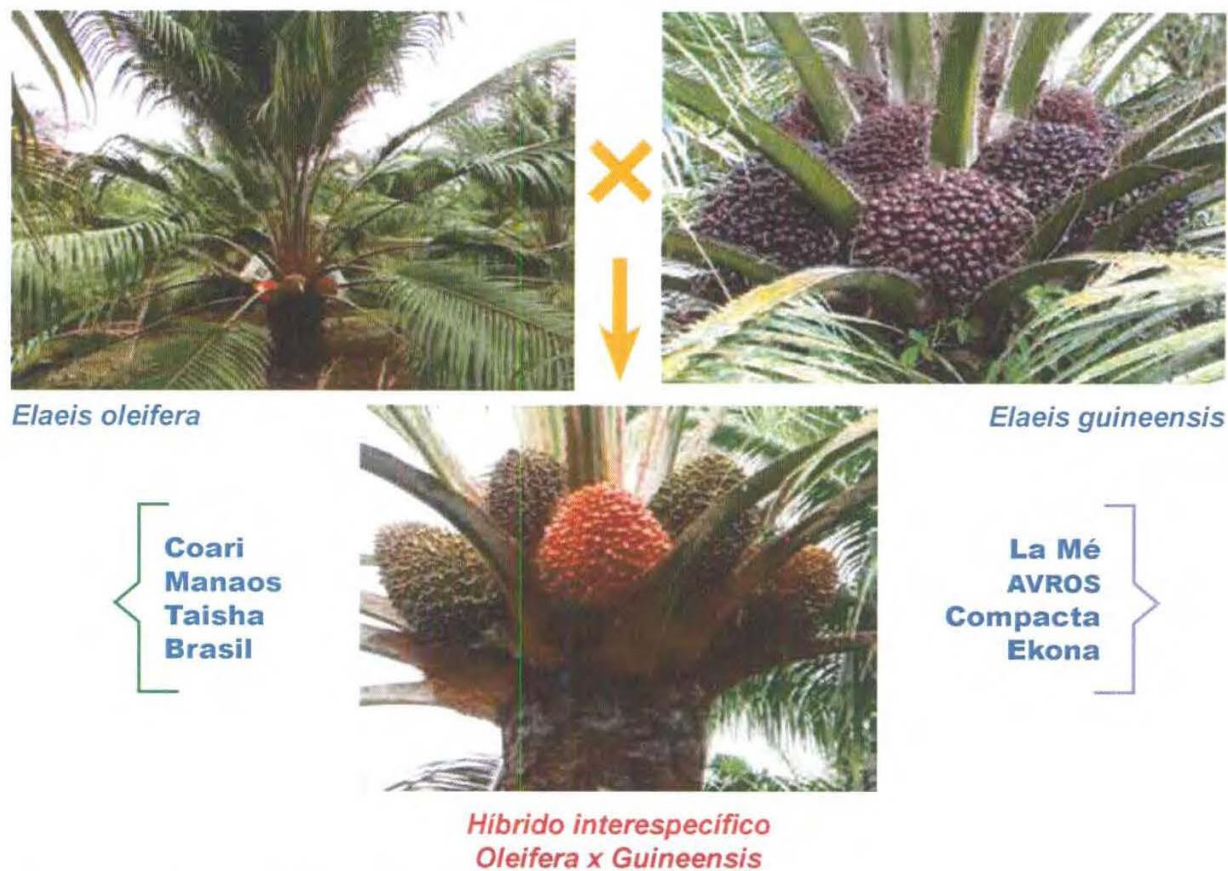


Fig. 7. Obtención del híbrido interespecífico *E. oleifera* x *E. guineensis*. (OxG). Fuente: Romero, H. (2013)

En lo que se refiere a productividad, Romero (2013), evaluó 16 híbridos que incluye todas las variedades comercializadas en Colombia con material híbrido *E. oleifera* x *E. guineensis*, desde el año 2005 (ver gráfica 1). Los resultados obtenidos son muy similares en producción en racimo fruta fresca (RFF) el promedio fue de 33 toneladas/has/año.

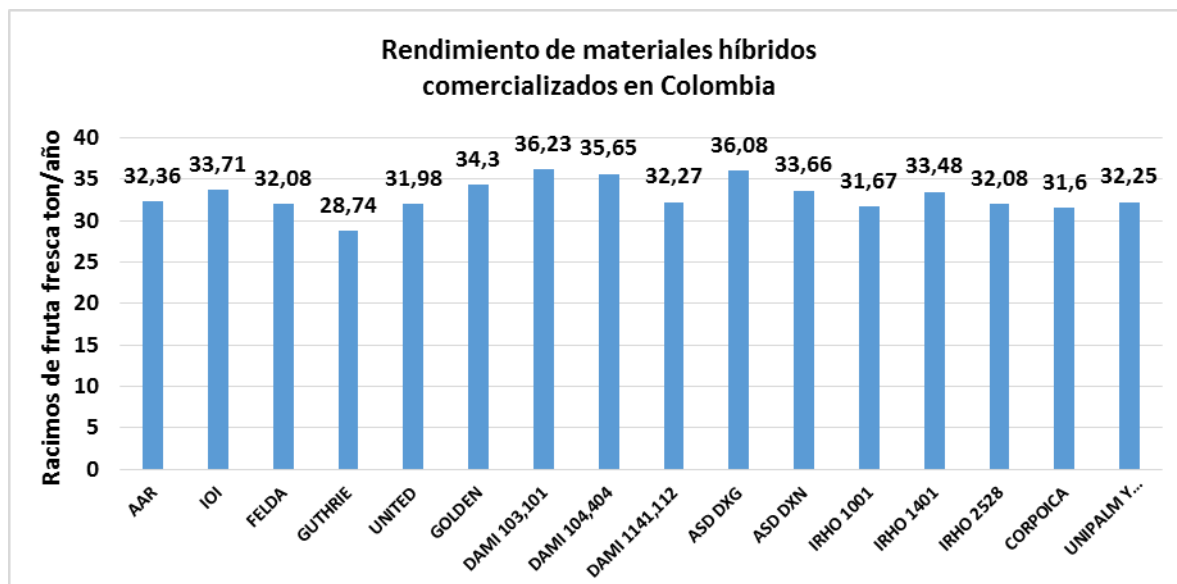
En cuanto a rendimiento potencial de extracción de aceite el promedio es de 8.65 tonelada/ha/año (ver gráfica 2.)



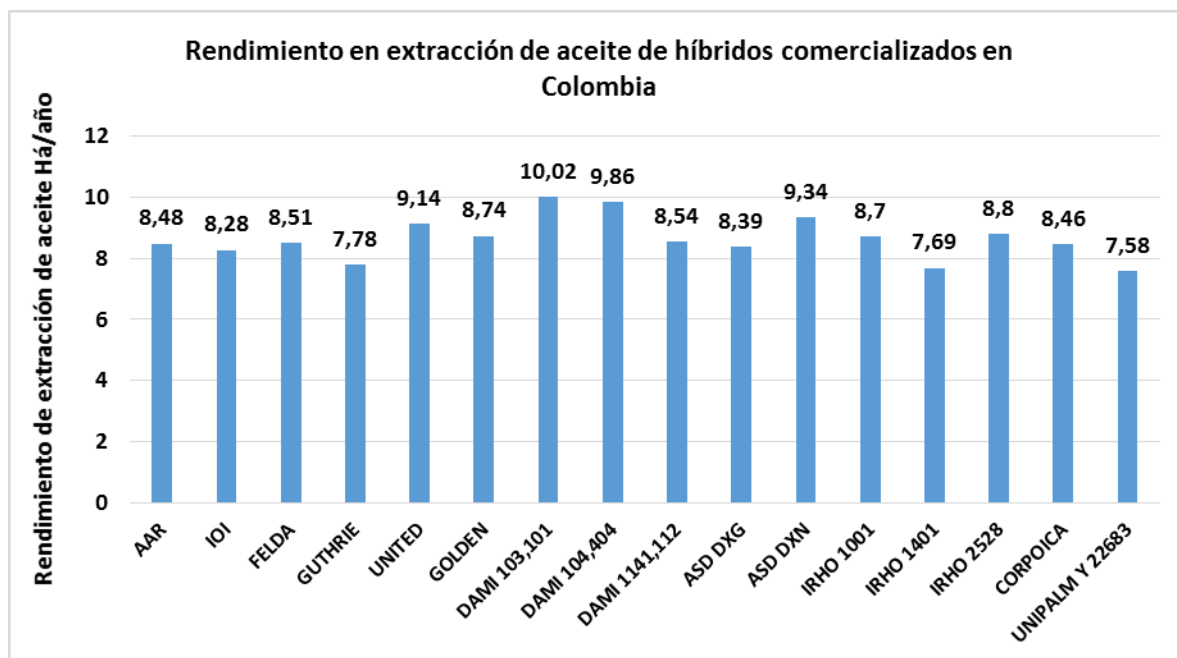
Fig. 8. Grupo de palmas *E. guineensis*, sobrevivientes a la epidemia de la P.C. en Tumaco-Nariño. Fuente: Alegría, et al. (2015).

Así mismo (Romero, 2013) señala que la búsqueda de material resistente a PC, es difícil y como ejemplo cita el trabajo que se realizó en Ganoderma, por más de 7 años en Malasia donde se seleccionaron más de un millón de genotipos en vivero para obtener un material resistente.

Trabajos enfocados a mejorar productividad y tolerancia a PC fueron llevados entre el año 2005-2009 en Corpoica, quienes desarrollaron un híbrido interespecífico OxG Corpoica ELMIRA, que es un cruzamiento controlado de *Elaeis oleífera* Cereté, originaria del Valle del río Sinú en, Córdoba y *Elaeis guineensis* tipos Deli y Yagambi, originarias de Sumatra y el Zaire, adaptadas a las condiciones agroclimáticas de Tumaco. Dentro de las características sobresalientes de este



Grafica 1. Rendimiento potencial de Racimos de Fruta Fresca (ton/año), de los materiales híbridos comercializados en Colombia. Fuente: Cenipalma 2013.



Grafica 2. Rendimiento potencial de extracción de aceite de híbridos comercializados en Colombia. Fuente: Cenipalma 2013.

híbrido encontramos la emisión de inflorescencias libres de fibras envolventes, por lo cual no requiere de polinización asistida, encontrándose un ahorro promedio de USD 350-400 Há año en mano de obra en la labor de polinización (Bastidas, S., 2013). Igualmente, su resistencia a la pudrición del cogollo, ya que las pruebas en campo arrojaron una incidencia de enfermedad acumulada de PC de 0.9%. Otro aspecto relevante de la investigación es que plantas menores a 5 años son más susceptibles a la enfermedad de la PC, como lo evidenció (Navia et al., 2014). De otro lado, se encontró que híbridos RC1 sembrados en 1995 con 75% de genética cercana a *E. guineensis* que aún sobreviven.

3.7. Avances multidisciplinarios enfocados en palma de aceite *Elaeis guineensis*.

3.7.1. Cultivo de tejidos. El cultivo de células y tejidos vegetales se refiere al conjunto de técnicas usadas para hacer crecer células, tejidos u órganos vegetales *In Vitro*, bajo condiciones asépticas controladas (Street 1977; Calva y Ríos 1999.)

Actualmente la técnica que ha mostrado mejores resultados en multiplicación clonal de material de palma de aceite con valor comercial es la embriogénesis somática (ES), que es el proceso por medio del cual a partir de células haploides o diploides o de segmentos de tejidos vegetales, se puede regenerar plantas completas (Figura 9) e idénticas a las donantes de dichas células y/o tejidos, (Williams y Maheswaran 1986),

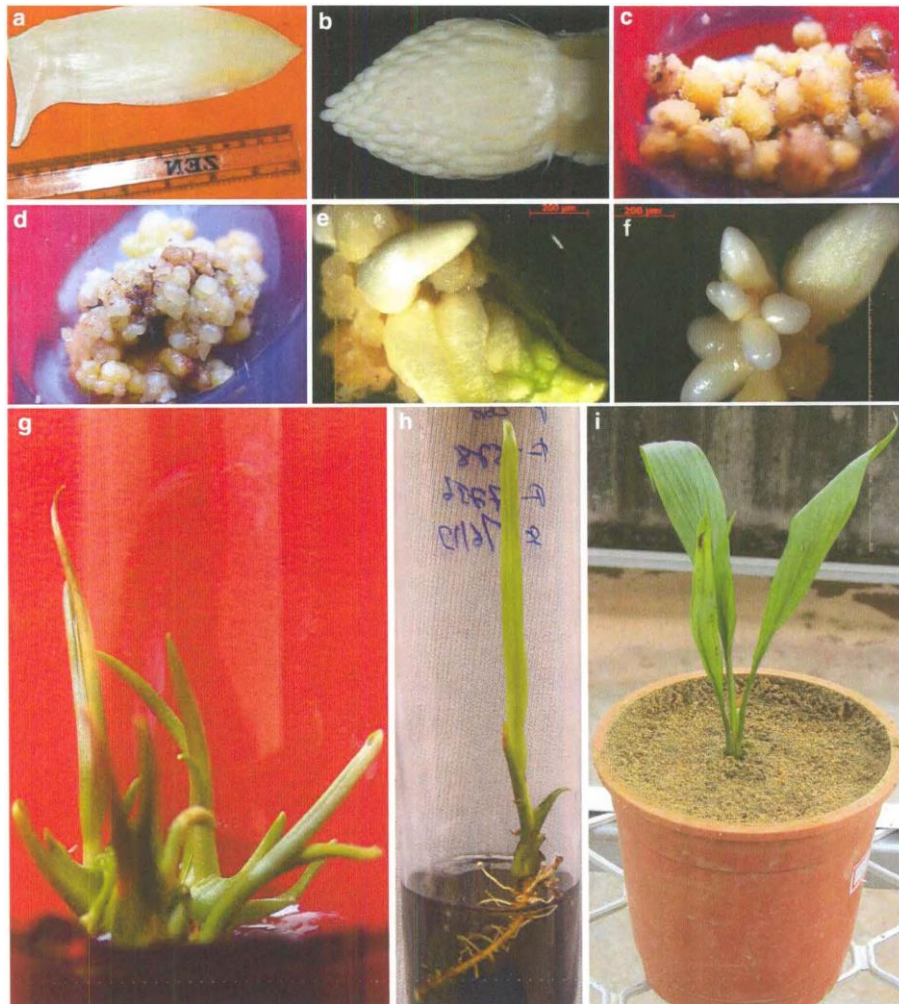


Fig. 9. Embriogénesis somática y regeneración de plántulas de inflorescencias masculinas inmaduras de palma de aceite (*E. guineensis* Jacq). **a** Inflorescencia inmadura colectada de la axila de una hoja de palma de aceite. **b** Inflorescencia masculina después de ser removida de la espata interna y externa. **c** Tejido hinchado e iniciación de callos en explantes cultivados en medios suplementados con auxinas. **d** Inducción de callos embriogénicos -note el desarrollo de callo globular. **e** Germinación de embriones somáticos. **f** Embriogénesis somática asincrónica –note los estados de corazón y torpedo. **g** Regeneración de plántula de embriones somáticos. **h** Enraizamiento de plántula regenerada. **i** Endurecimiento de plántula de palma de aceite. Fuente: Jayanthi, *et al.* (2015).

Esta técnica utiliza diferentes tipos de explantes (Figura 10) y semillas (embriones cigóticos) de la planta. Sin embargo, la estandarización de un protocolo en ES, ha sido compleja debido a los múltiples factores que intervienen en su proceso como son: los medios de cultivo (sólidos,

líquidos) (Figura 11), la edad del embrión (inmaduro o maduro), reguladores de crecimiento, tipo de explante (inflorescencias, ápices de hojas), el genotipo, el estado de desarrollo del explante (inmaduro o maduro), y el tamaño del explante que son los más relevantes para Viñas y Jiménez (2011).

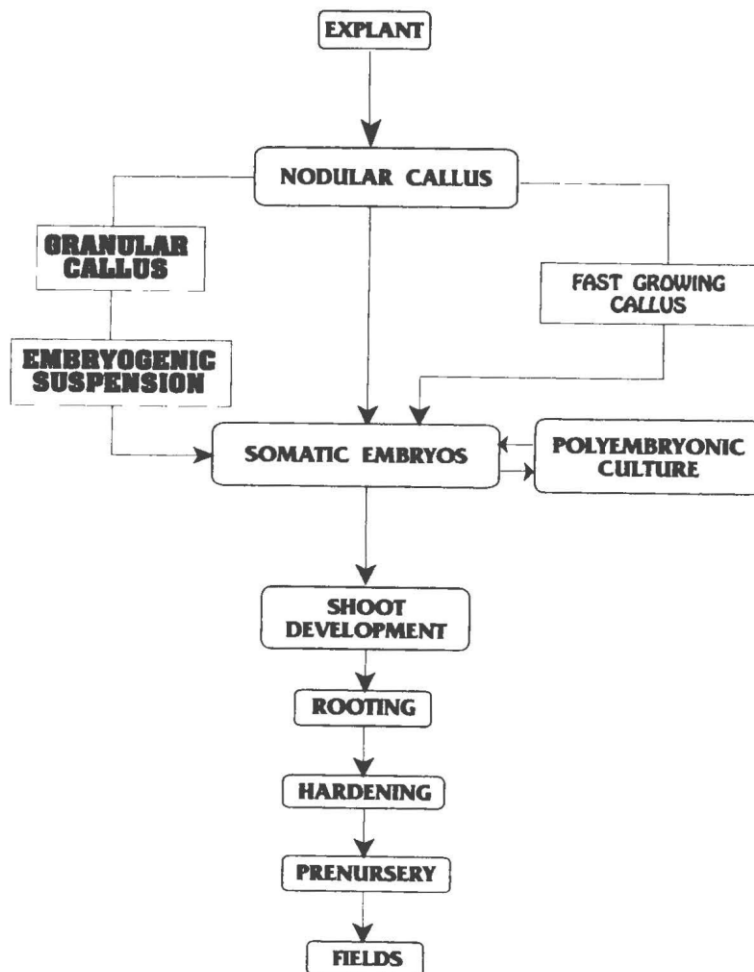


Fig. 10. Esquema representativo de varias formas de micropropagación de palma de aceite mediante embriogénesis somática. Fuente: Duval Y, *et al.* (1995)

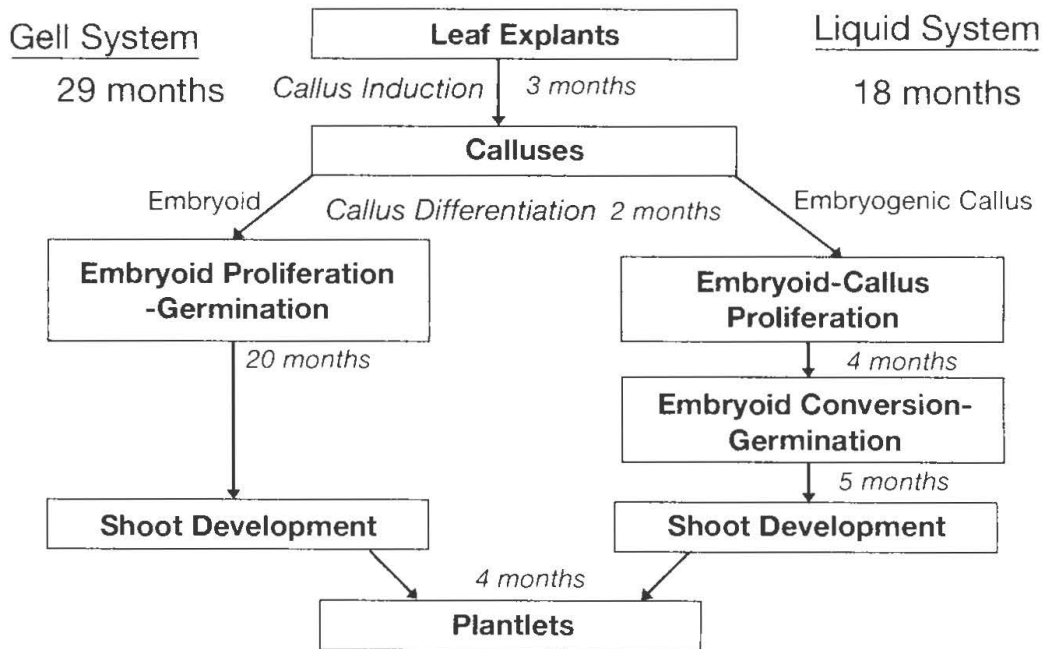


Fig. 11. Duración y etapas del cultivo en sistemas sólido (gel) y líquido para producir 5000 brotes. Fuente: Soh, A. *et al.* (2011).

Uno de los mayores inconvenientes en la multiplicación *in vitro* de palma de aceite mediante embriogénesis somática ha sido la anomalía floral denominada “mantled” que es una alteración epigenética (Jaliglot *et al.* 2011), es decir un cambio en la función del gen más no en su secuencia, generando lo que se conoce como silenciamiento génico (Cavagnari, 2012).

Otro de los riesgos de la propagación clonal es que si el material “origen” u ortet que se va a propagar presenta susceptibilidad a alguna enfermedad o plaga, todos sus clones serán susceptibles a esa misma enfermedad o plaga (Rocha, P. 2007) y teniendo en cuenta la densidad de siembra que es de aproximadamente 143 palmas por hectárea y las grandes extensiones que se llegan a sembrar, las pérdidas podrían ser enormes.

3.7.2. Desarrollo de la palma de aceite *Elaeis guineensis* a través de la genética. El primer avance que tuvo un impacto importante en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* fue los genes responsables del cuesco, la palma de aceite dependiendo del espesor del cuesco presenta tres tipos de fruto, el gen que codifica para ese carácter es un gen codominante llamado Sh (por la palabra Shell, cuesco en inglés), el cual fue identificado por los trabajos desarrollados en hibridación, junto a los primeros estudios biométricos de Beirnaert y Vanderweyen.1941 (citados por Babu *et al.* 2017) que dieron origen a la variedad Tenera. Cada variedad se distingue por el cuesco, la variedad Dura de cuesco grueso (thick-shell), la variedad Pisífera sin cuesco (Shell-less) y la variedad Tenera con cuesco delgado (thin-shelled) proveniente del cruce de las variedades Dura x Pisífera (Figura 12).

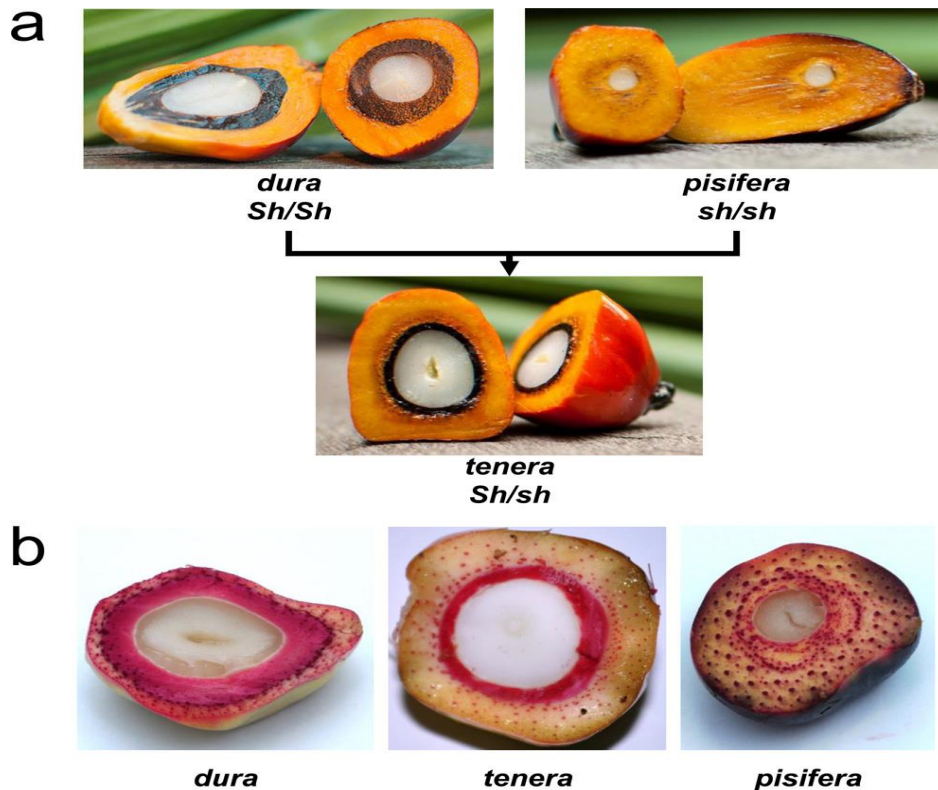


Fig. 12. Tipos de frutos según el espesor del cuesco. Fuente: Singh, *et al.* (2013)

Con la secuenciación del genoma de la palma de aceite por Singh et al., (2013), también se pudo establecer el gen responsable del grosor del cuesco gen (SHELL), el cual está ubicado en el cromosoma 7 del genoma.

Singh et al., (2014), identificó dos colores en el fruto, uno correspondiente al tipo nigrescens que al madurar cambia de un color violeta oscuro a negro, esto se debe a que es un carácter recesivo y cuando madura se desprende y cae al suelo mientras que con el tipo de color virescens, su coloración es rojo intenso permite recogerlo de la planta. Al conocer esta variable se podrá reducir la frecuencia de las cosechas y por lo tanto un ahorro de costos en mano de obra para recoger frutos del suelo de *E. guineensis* que en Indonesia es del 15% (Billotte *et al.* 2016) y en Colombia es de \$ 175.176 há/año (Alfonso, Botero y Moreno., 2013), puesto que se pueden seleccionar desde que son plántulas.

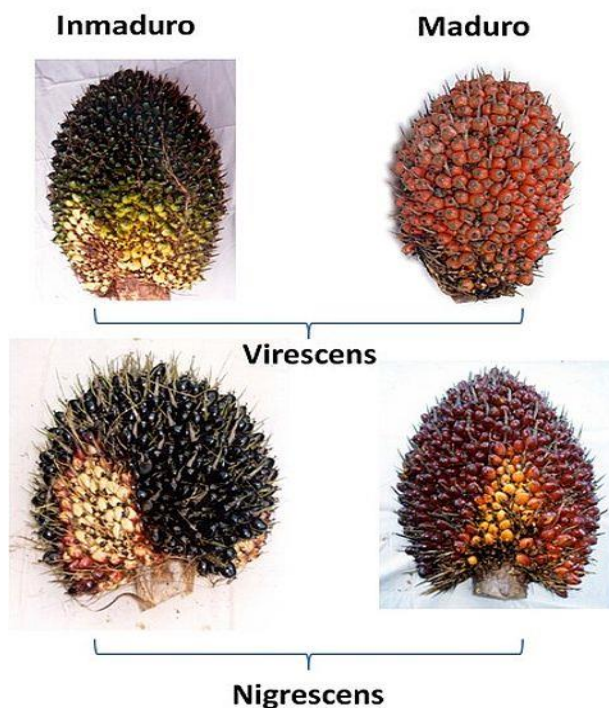


Fig. 13. Tipos de fruto de palma de aceite según el color. Fuente: Singh, *et al.* (2014)

Actualmente, es posible detectar plántulas propagadas mediante cultivo de tejidos y que son propensas a sufrir anomalías durante su desarrollo mediante el marcador molecular “*Karma*”, (Meilina et al.,2015).

Recientemente, Lee et al., (2015), señala que para encontrar los genes de importancia agronómica se requiere identificar un mayor número de marcadores moleculares (Figura 14) ya que esta es una limitante. Destaca que el primer mapa genético de palma africana fue elaborado en 1997, y que en 2005 se reportó un mapa asociado constituido con 255 marcadores microsatélite (SSR) y 688 marcadores de polimorfismo de longitud en los fragmentos amplificados (AFLP) por Billotte, (2005), y que estos mismos marcadores asociados fueron empleados posteriormente por Singh et al., (2013) y Montoya et al., (2014). Lee et al., (2015) utilizando marcadores de Polimorfismo Nucleótido Simple (SNP) y microsatélites (SSR), identificó un mapa genético QTL para la longitud de tallo, valiéndose del genoma de *Elaeis guineensis*, (Singh et al., 2013) con dos generaciones de F₁ del cruce entre la variedad Dura y Pisifera; concluye además que de los 8 genes identificados con el carácter de longitud del tallo el gen asparagina-sintetasa es el que tiene el mayor potencial para este carácter. Budiman et al. (2005) reportó la secuenciación de los genomas de las especies *E. guineensis*, *E. Oleifera* y los híbridos (O x G) con lo cual se ha abierto una puerta para el rápido desarrollo de nuevos materiales mejorados.

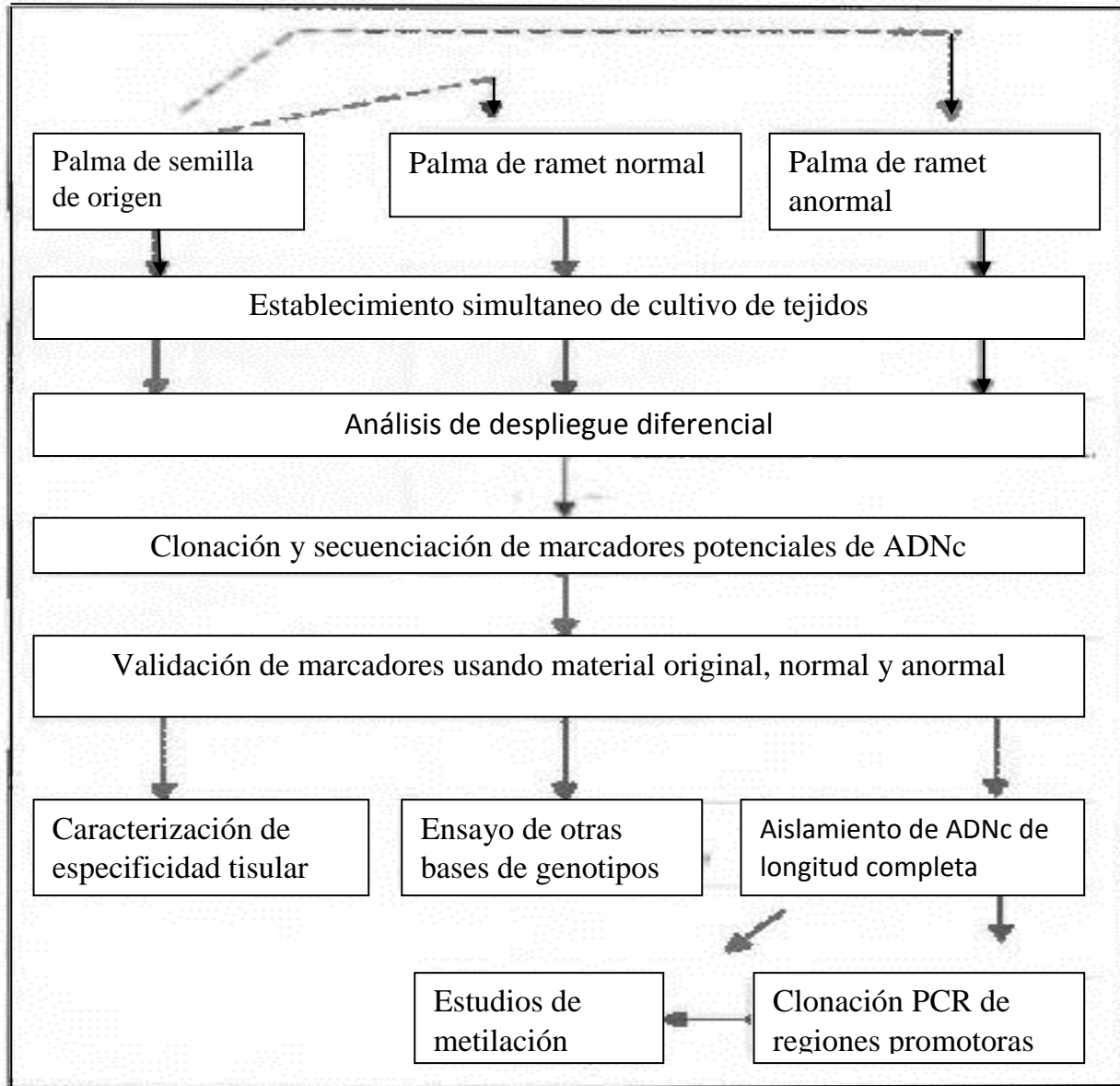


Fig. 14. Estrategia experimental para la identificación y caracterización de los genes que despliegan un patrón de expresión "mantled". Fuente: Billote N, *et al.* (2007)

3.7.3. Conversión de fotosíntesis C_3 a C_4 como estrategia para optimizar la eficiencia de producción en la palma de aceite africana. Hacia futuro Rajanaidu, (2016) asegura que en el desarrollo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*), la conversión de la fotosíntesis de C_3 a C_4 , será fundamental como recurso.

Las plantas C_4 presentan una anatomía que difiere de las de tipo C_3 (Figura 15), y es que cuentan con dos tipos de células, las células de la vaina y las células del mesófilo que conforman una anatomía en forma de corona o Kranz; (Garner, Mure, Yerramsetty, Berry, 2016). Las plantas C_4 aprovechan mejor el nitrógeno, alta saturación de luz, regiones con alta salinidad, altas temperaturas y baja compensación de CO_2 (Sage, Sage and Kocacinar, 2012).

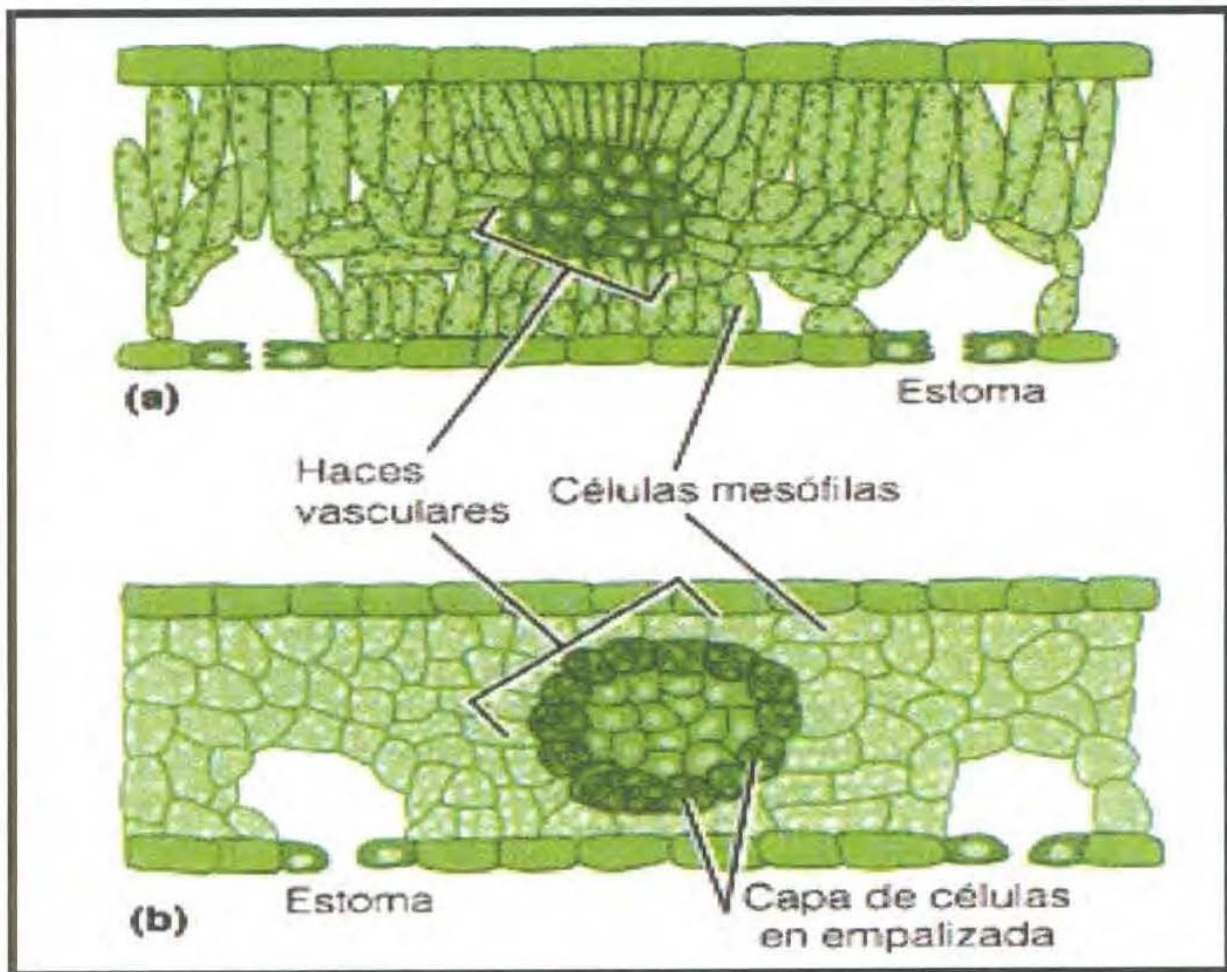


Fig. 15. Cortes transversales de hojas, (a) planta C_3 , (b) planta C_4 . Fuente: Benavides A. (2003)

La secuenciación de nueva generación (SNG), permitió identificar genomas de cultivos C_4 tales como: maíz (Schnable *et al.* 2009), Sorgo (Paterson, Bowers, Bruggmann, Dubchak, 2009),

amaranto (Sunil *et al.* 2014). Además de la reducción de los costos de transcripción y secuenciación del genoma, Weber (citado en Schlüter, 2016).

3.7.4. Diferenciación de inflorescencias como estrategia para alcanzar mayor productividad

Como muchos otros caracteres al interior del genoma de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*), es fundamental determinar los genes que manifiestan la determinación del sexo. Estos caracteres dependen principalmente de cuatro factores: factores abióticos (estrés por agua), reservas de carbón, hormonas y genética, Adam *et al.*, (2011).

Frente a este tema se pudo establecer que un gen putativo de aldo-ceto reductasa (denominado EgAKR1) puede ser promisorio para la determinación sexual a través del control del número de inflorescencias femeninas, y por su capacidad de respuesta que tiene al estrés (Somyong, Poopear, Jomchai, 2015). Recientemente (Somyong, Poopear, y Sunner, 2016.) identificaron EgACCO1 que codifica aminociclopropanocarboxilato (ACC) oxidasa) en el cromosoma 10 y EgmiR159a (micro RNA 159a) en el cromosoma 6 para ser los genes QTL más ligados o determinantes para el rendimiento de racimos de fruta fresca (FFB por sus siglas en inglés) para el número de inflorescencia femenina.

3.7.5. Las tecnologías de la información y comunicación (TICs) para evaluar de manera

holistic el comportamiento de la Especie. Las tecnologías han sido fundamentales para el desarrollo de cultivos, con la creación de las bases de datos y con ellas los modelos de simulación, los sistemas de posicionamiento global (GPS por sus siglas en inglés), los Sistemas

de Información Geográfica (SIG por sus siglas en inglés) y sensores remotos, permitieron el surgimiento de lo que se denomina Agricultura de Precisión (AP).

Sensores remotos son instrumentos que, determinando las longitudes de onda electromagnética reflejada por la superficie de la tierra, obtienen información sobre las características y condiciones de la misma y de los objetos que se encuentran sobre ella, Hay SL et al. 2006 (citados por Parra-Henao, G., 2010). De acuerdo a la resolución utilizada, así será la precisión de los datos; el proceso consiste en relacionar las imágenes de un espacio físico geográfico con una información descriptiva a través de un sistema de información geográfica (SIG) que superpone capas digitales del espacio analizado.

La importancia de estos sensores radica en que permiten monitorear los cultivos de palma y predecir su comportamiento (Chong, Kanniah, Pohl y Tan, 2017), entre otros se puede utilizar en la clasificación del uso del suelo que ocupa el cultivo de palma de aceite, así mismo puede catalogar zonas de deforestación donde el gobierno puede tomar medidas normativas al respecto, conteo de árboles para mejorar los programas de fertilización, estimación de la biomasa, detección temprana de enfermedades como la Pudrición Basal del Estípote (PBE) causada por el hongo *Ganoderma boninensis*, la cual causa grandes pérdidas económicas en el continente asiático y estimados de producción acorde con la edad del cultivo, con lo que se logra una mayor productividad y un ahorro importante de recursos económicos.

En este sentido, Mood, Mohamad, Seman y Bahrom, (2016), manifiestan que se requieren métodos rápidos y precisos para la detección temprana de (PBE), y que el uso de imágenes digitales multiespectrales utilizando vehículos aéreos no transportados (VANT), es una opción.

En India, para incrementar la productividad y lograr difundir el manejo agronómico del cultivo de la palma de aceite, el estado a través de un portal donde involucro la participación de los palmicultores estableció los temas más relevantes para dar a conocer a ellos a través de un servicio de mensajería corto(SMS por sus siglas en inglés) entre el año 2014-2015, que se adecuo a sus necesidades particulares, como resultado se definieron 10 temas, de los cuales los más frecuentados fueron la fertilización y los relacionados con enfermedades , también se encontró que les resultaron útiles la irrigación en un 15% y fertilización en un 14%, enfermedades un 8% y finalmente en cuanto a la percepción del (SMS), tuvo una aceptación del 68%. Rani, Prasad, Arulraj y Mounica, (2015) destacan que este proceso es más coherente y articulado para mejorar la eficiencia y eficacia de los palmicultores y que en un 33% ellos adoptaron las prácticas enviadas a través del (SMS).

3.8. La palma de aceite frente al cambio climático

El cambio climático, es un factor que tendrá en pocos años un impacto aún más fuerte en la agronomía, debido al aumento de la temperatura y a los cambios que este genera en los ecosistemas. En este aspecto los investigadores en palma y en otras disciplinas consideran que es vital incluir los efectos del cambio climático alrededor de las tecnologías a desarrollar en cultivos de palma de aceite (Rival, 2017; Billotte, 2016; Hospes, Kroeze, Oosterveer, Schouten, y Slingerland, 2017).

La palma de aceite (*Elaeis guineensis*), hacia futuro debe desarrollarse con un enfoque sostenible que incluya la genética y sus divisiones; la agricultura de precisión (AP), trabajos interdisciplinarios y multidisciplinarios (Hospes *et al.* 2017), entre ellos la fisiología, eco fisiología, bioquímica, fitopatología, entomología, e integración de datos. Rival *et al.* (2017)

menciona a la metagenómica y la epigenómica, por su parte Rajanaidu, (2016) estima que la conversión de la palma de aceite de fotosíntesis C_3 a C_4 , será un cambio fundamental en el futuro de esta planta.

La palma de aceite del futuro deberá ser un ideotipo particular, es decir que aproveche lo que le brinde su ambiente de manera eficaz (Billotte et al., 2016), que se adapte a las condiciones de altas temperaturas, sequía, tipos de suelo, fertilización y a espacios físicos particulares (fincas, regiones). Se busca que sea más fácil de cosechar (menor tamaño del estúpido), aproveche mejor la radiación solar, mayor calidad y cantidad de ácidos grasos insaturados y resistente a la enfermedad del cogollo (PC) (en América) y finalmente que su ciclo cada vez sea más corto.

3.9. La Biotecnología en la palma desde un contexto colombiano

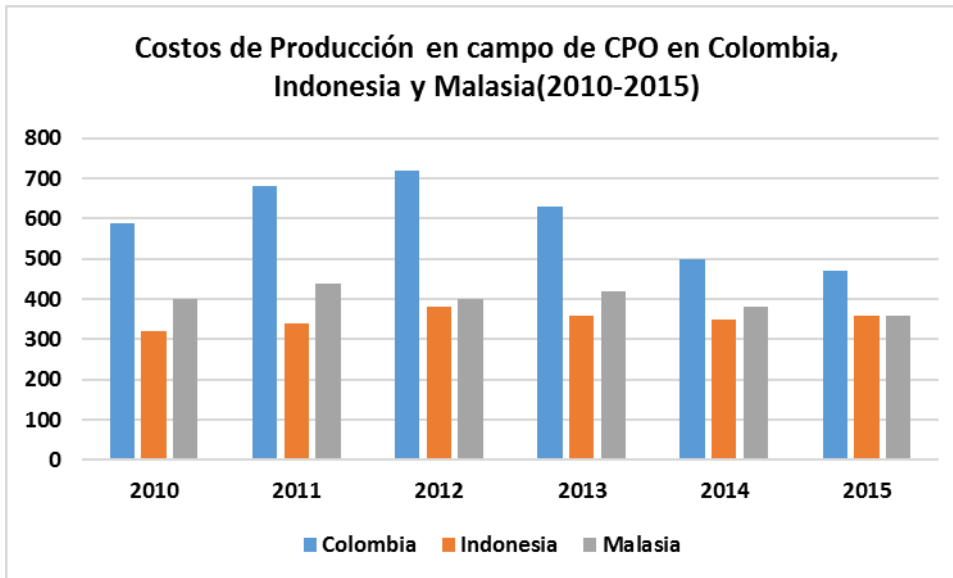
En 1996, Colombia dio sus primeros pasos en biotecnología para el mejoramiento del cultivo de la palma de aceite mediante el uso de marcadores moleculares (Cenipalma, 1996), actualmente se trabaja con técnicas moleculares basadas en PCR principalmente para el diagnóstico de enfermedades de la palma de aceite (Rocha, P. 2005), se encaminan esfuerzos para la obtención de: *a*) genotipos propios para cada zona productora del país, ya que cada región posee unas características muy particulares que las diferencian de las demás; *b*) plantas con resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades; y *c*) mejoramiento en cuanto a la calidad de aceite (Rocha, P. 2007).

El país cuenta con el centro nacional de investigación de la palma de aceite *Cenipalma*, el cual posee un campo experimental palmero llamado “La Vizcaina” donde ha establecido su laboratorio de cultivo de tejidos.

La exigencia de los mercados internacionales por productos inocuos y respetuosos del medio ambiente requieren que Colombia que exporta el 60% de su producción de aceite de palma crudo (APC), integre la producción limpia con la preservación del medio ambiente de manera permanente. Actualmente la Unión Europea a través de la Mesa redonda sobre el Aceite de Palma Sostenible (RSPO por sus siglas en inglés), elaboró el Sistema de Certificación de Aceite de Palma Sostenible (CSPO por sus siglas en inglés), que es una condición necesaria para acceder a estos mercados sin que por ello se adquieran beneficios económicos adicionales (Mosquera y López, 2017).

De tal magnitud es el proceso de certificación para la Comunidad Europea que en el año 2015 se firmó la Declaración de Ámsterdam, por Holanda, Reino Unido, Dinamarca y Alemania, en la cual estos países se comprometen a que el aceite de palma crudo (APC) que importen, deberá ser certificado CSPO al 100% a partir del año 2020.

Un factor que aún es limitante en la competitividad, son los costos de producción (ver gráfica 4), que en Colombia como lo señala Fry et al., (2016); Mesa et al., (2016), están cercanos a los USD 500 frente a Malasia USD 300, incluido el precio de extracción de (APC), esto en parte a la devaluación del peso, alto costo de mano de obra y a la falta de infraestructura en plantas de beneficio primario (PBP), en Colombia existen 64 plantas y su capacidad de procesamiento es de 17 toneladas de racimo de fruto fresco (RFF)/hora mientras en países líderes está en 70 t/h de (RFF), y su costo es de USD 50 mientras en Colombia asciende a USD 100.



Grafica 3. Costos de producción de palma de aceite en Colombia, Malasia e Indonesia 2010-2015.
Fuente: Fry, 2016.

De igual manera (Fry et al., 2016; Mesa et al., 2016) destacan que la tasa de cambio impacta los costos del cultivo. La producción en Colombia ha descendido un poco y que esto se debe en parte a la adopción lenta de los productores de las buenas prácticas agrícolas en sus empresas y a la falta de aprovechamiento de subproductos. Sugiere Mesa et al., (2016) que si se adoptarán los factores enunciados anteriormente se lograría una reducción del 50% en costos de producción. Finalmente señala que en un estudio llevado a cabo por la firma Mckinsey y Company 2014, la mejora de la productividad en un 82% proviene de aplicar adecuadamente las tecnologías existentes ya validadas y las buenas prácticas agrícolas (BPA) entre las que se encuentra la siembra de materiales resistentes o tolerantes, mientras que el otro 18 % corresponde a las innovaciones.

Las condiciones agroclimáticas y el cambio climático previsto en los próximos años son fundamentales a la hora de elegir o trabajar sobre material híbrido, puesto que se ha evidenciado que los rendimientos y la tolerancia a la enfermedad de pudrición del cogollo(PC), es particular de cada zona geográfica; en ese sentido la investigación debe enfocarse principalmente en estos factores.

Los hábitos de consumo por productos saludables y amigables con el medio ambiente se incrementan día por día. Es por esta razón que el aceite de palma tiene una gran oportunidad de convertirse en un producto con características sobresalientes principalmente en dos aspectos, primero en cuanto a la relación de ácidos grasos insaturados, los cuales por calidad estén a la par con el aceite de oliva y otra de sus ventajas, será el precio puesto que sería mucho más competitivo frente al aceite de oliva el cual actualmente presenta un precio diez veces mayor al del aceite de palma.

IV. CONCLUSIONES.

El cultivo de palma de aceite *Elaeis guineensis* tiene un ciclo de vida que oscila entre 15 a 20 años en promedio, productivamente puede alcanzar los 30 años. Con los alcances en biotecnología, la secuenciación del genoma entre otros, es posible hacia futuro lograr acortar el ciclo de la palma de aceite y aumentar su productividad.

Para Colombia el manejo integrado del cultivo, que incluye la agricultura de precisión (AP, el uso de híbridos interespecíficos *E. guineensis* x *E. oleifera* que ha demostrado tolerancia a la enfermedad de la pudrición del cogollo (PC), el manejo de buenas prácticas agrícolas (BPA) y buenas prácticas en manufactura (BPM), es el camino a seguir.

La investigación en el país ha logrado identificar el agente causante de la enfermedad de la pudrición del cogollo (PC), *Phytophthora palmivora* y el proceso de inoculación de este agente, lo cual lo ha puesto en un lugar de credibilidad en el ámbito científico del sector palmero a nivel mundial.

Las condiciones agroclimáticas y el cambio climático previsto en los próximos años son fundamentales a la hora de elegir o trabajar sobre material híbrido, puesto que se ha evidenciado que los rendimientos y la tolerancia a la enfermedad de pudrición del cogollo(PC), es particular de cada zona geográfica; en ese sentido la investigación se está enfocando hacia esos factores.

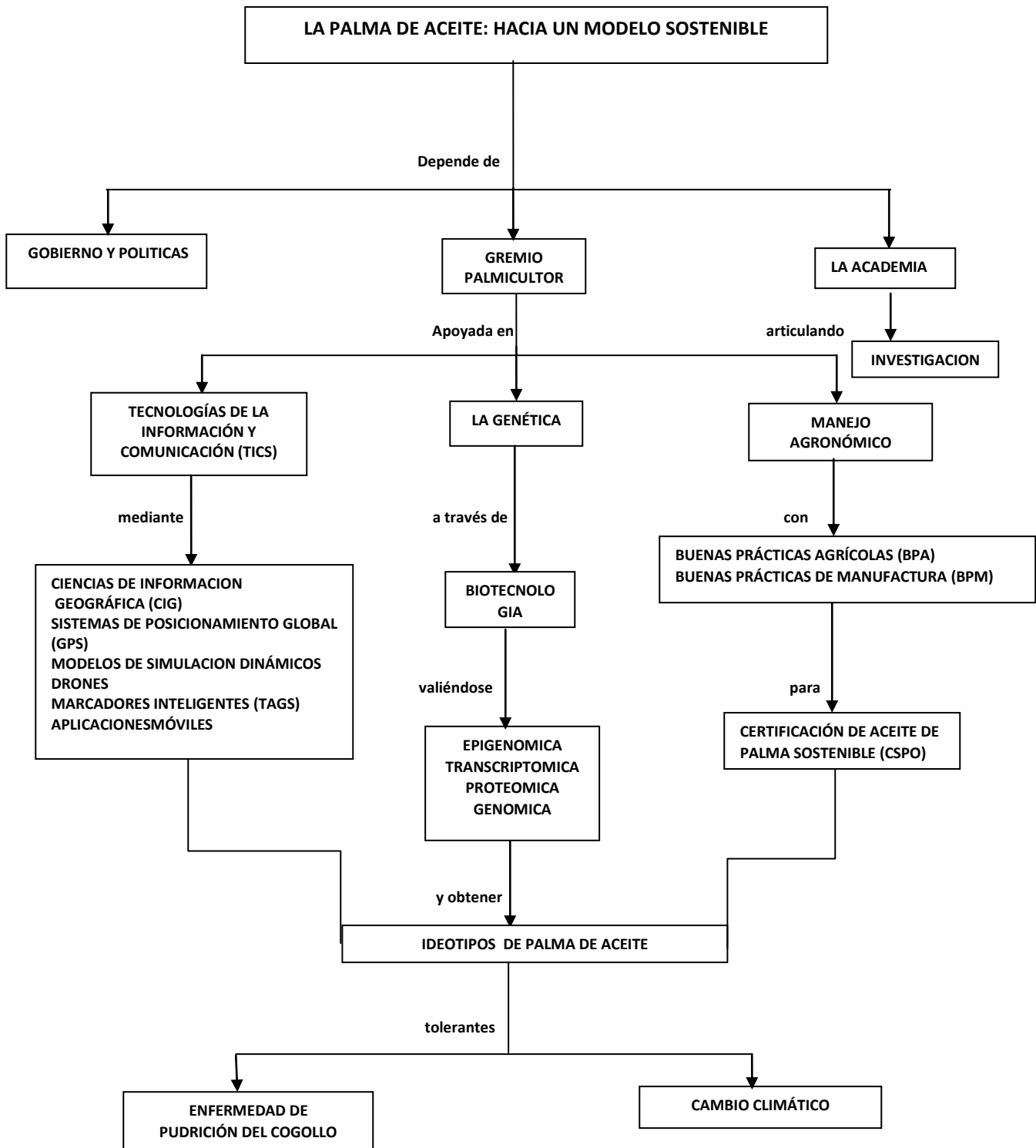
Los sensores remotos han permitido avanzar contra el flagelo de la enfermedad de la pudrición basal del estípote (PBE), en Malasia, estos sensores de imágenes espectrales se pueden aplicar en Colombia para la identificación temprana de la enfermedad de la pudrición del cogollo (PC), al

igual que en otros cultivos económicamente importantes. Las tecnologías móviles hacen parte del diario vivir de operarios, productores, razón por la cual el desarrollo de una aplicación adecuada al cultivo de palma de aceite para Colombia se convierte en una herramienta para mejorar la competitividad de los productores y consolidar el desarrollo de este sector.

La determinación del sexo de la palma de aceite genéticamente será un gran aporte al desarrollo productivo ya que al conocer el gen que codifica para inflorescencias femeninas y masculinas, se podrá obtener palmas súper femeninas y súper masculinas logrando de esta manera planificar con eficiencia la cantidad de palmas requeridas de los dos sexos en los cultivos (Adam, H. et al., 2011), de acuerdo a esto y teniendo en cuenta que materiales propagados por cultivo in vitro presentan algún porcentaje de variaciones somaclonales entre las que se encuentra la androgénesis o masculinización de las inflorescencias, sería interesante relacionar mediante investigación, el proceso de androgénesis y la determinación del sexo de la palma de aceite.

Según Corley (1986) y Corley & Tinker (2003) entre las anomalías florales se encuentra la producción de frutos partenocarpicos y entre los temas a futuro, se desea obtener palmas con frutos partenocarpicos sin semilla, a nuestro modo de ver este sería un punto de partida para una investigación que relacione estos dos temas.

En el esquema 1. se muestra un modelo ideal de producción de palma sostenible, debido a la importancia que posee dicho cultivo, donde intervienen el gremio, el gobierno y la academia, y mediante la investigación, la genética y la biotecnología, se pueda llegar a un ideotipo propio para nuestro sector palmero.



Esquema 1. Modelo de palma de aceite en el futuro.

Actualmente, entidades científicas nacionales como Cenipalma y Corpoica trabajan en biología molecular para descubrir genes de resistencia a esta enfermedad, mientras tanto se debe continuar por la línea de reguladores biológicos para disminuir el impacto de la P.C. en Colombia.

Cabe resaltar que muchas de las investigaciones que lleva a cabo Cenipalma en este momento, son confidenciales debido al alto costo de las mismas y que los aportes para llevarlas a cabo son de origen privado (Fedepalma), por lo que no podemos conocer en que van sus desarrollos o sus resultados.

V. BIBLIOGRAFIA.

Adam, H. Collin, M. Richaud, F. Beulé, T. Cros, D. Omoré, A....Tregear, W. (2011). Environmental regulation of sex determination in oil palm: current knowledge and insights from other species. *Annals of Botany*108:1529-1537.doi:10.1093/aob/mcr151

Alegría, M. Vélez, D. Varón, F. Martínez, G. Torres, G. y Corredor, J. (2015). Comportamiento frente a la Pudrición del cogollo (PC) de palmas derivadas de cruzamientos entre palmas *Elaeis guineensis* sobrevivientes a la epidemia en Tumaco, Nariño. *Palmas*, 36(2), 69-77.

Alfonso, O. Botero, J. Moreno, E. (2013). Recolección del fruto suelo de *Elaeis guineensis* Jacq. *Palmas*. Vol. 34(1) 9-18. Recuperado agosto de 2017 de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10807/10799>

Arias, N. Beltrán, J. Guerrero, J. Sánchez, A. (2014). Tecnologías para el manejo de la pudrición del cogollo (PC) de la palma de aceite validadas en las zonas palmeras de Colombia.*Palmas*.35 (2).39-52. Recuperado agosto de 2017 de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/issue/view/1161/showToc>

Barba, J. (2016). Introgresión de genes *E. guineensis* en híbridos interespecíficos O×G para recuperar la fertilidad del polen y otras características deseables en palma de aceite. *Palmas* 37(Especial Tomo I), pp. 285-293. Recuperado julio de 2017 de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/issue/view/1308/showToc>

Bastidas, S. (2013). Híbrido OxG Corpoica Elmira de palma de aceite. Avances en el desarrollo de materiales resistentes a la PC. Palmas.VOl.34 (2)135-141. Recuperado agosto de 2017 de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/issue/archive>

Babu, B. Mathur, R. Kumar, P. Ramajayam, D. Ravichandran, G. Venu, M. Babu, S. (2017). Development, identification and validation of CAPS marker for SHELL trait which governs dura, pisifera and tenera fruit forms in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Plos One. Doi:10.1371/Journal.pone.0171933

Benítez, E. (2014). Historia de las investigaciones en pudrición del cogollo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Colombia. doi:10.15446/Agron.colomb.v32 n.3 46240

Billotte, N. Marseillac, N. Risterucci, A. Adon, B. Brottier, P. Baurens, F. Singh, R. Herrán, A. Billot, C. Amblard, P. Durand, G. Courtois, B. Asmono, D. Cheah, S. Rohde, W. Ritter, E. Charrier, A. (2005). Microsatellite-based high density linkage map in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Theoretical and Applied Genetics 110: 754-765. doi: 10.1007/s00122-004-1901-8

Billotte, N. Amblard, P. Duran-Gasselin, T. Flori, A. Nouy, B. Potler, F. Richaud, F. Rival, A. Beaulé, T. Morcillo F. (2007). Biotecnología en la palma de aceite en el Cirad, mejoramiento y producción de semilla. Palmas. Vol. 28. No. Especial, (1), pp123-143.

Billotte, N. Cuellar, T. Espeout-Fois, S. Rivallan, R. Ilbert, P. Droc, G. Bocs, S.... y Lanaud, C. (2016). Biotecnología y selección de la palma de aceite: la Palma Dorada del futuro. Palmas 37(Tomo I), pp.159-174. Recuperado julio de 2017 de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11900>

- Budiman, M. Singh, R. Low E. Nunberg, A. Citek, R. Rohlfing, T. Bedell, J. Lakey, N. Martienssen, R. Cheah, S. (2005). Sequencing of the oil palm genespace. Proceedings of the PIPOC 2005 International Palm Oil Congress (Agriculture, Biotechnology and Sustainability). Sunway Lagoon Resort Hotel, Petaling Jaya, Selangor. p. 628-639.
- Calva, C. Ríos, L. (1999). Cultivo de callos y acumulación de metabolitos secundarios. En Rodríguez, V. Calva, C, Ramos, E. Salazar, M. (Eds.). Aspectos aplicados a la biotecnología. pp267-301
- Cenipalma, 1996. Actividad: Identificación de marcadores moleculares RADP asociados con la resistencia a la pudrición del cogollo, Ceniavances (Colombia), 68:1-4.
- Chong, K. Kanniah, K. Pohl, C. Tan, K. (2017). A review of remote sensing applications for oil palm studies .GEO-SPATIAL INFORMATION SCIENCE,2017.VOL.20.NO.2,184-200.<https://doi.org/10.1080/10095020.2017.1337317>
- Corley, R. Tinker, PB. 2003. The oil palm. Fourth edition. Blackwell Publishing. Oxford.
- Corley, R. Lee, C. Law, I. Wong, C. (1986). Abnormal flower development in oil palm clones. The Planter (Malaysia) 62: pp 233-240.
- Cristancho, J. Alfonso, O. Molina, D. (2012). Revisión de literatura sobre el papel del suelo y la nutrición de plantas en la Pudrición del cogollo de la palma de aceite. Palmas. Vol. 33 No. 2, 9-22.
- Duval Y, Engelmann F and Durand-Gasselín T. (1995). Somatic Embryogenesis in Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Biotechnology in Agriculture and Forestry. Vol. 30. pp 335-352.

Fedepalma, Desempeño Económico del Sector Palmero Colombiano, marzo 2017, pp 4.
Recuperado agosto de 2017 de
http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/17032017_Desempe%C3%B1o%20del%20Sector%202016%20-%202017_Publicar%20P%C3%A1gina.pdf

Fedepalma, Informe de Gestión 2016.

Fry, J. (2016). Perspectivas sobre mercados y precios de aceite de palma. Palmas37 (Especial Tomo 1) 93-98. Recuperado agosto de 2017 de
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11891/11884>

Garner, D. Mure , Ch. Yerramsetty, P. Berry, J. (2016). Kranz anatomy and the C4 Pathway. doi: 10.1002/9780470015902.a001295.pub3

Hospes, O. Kroeze, C. Oosterveer, P. Schouten, G. Slingerland, M. (2017). New generation of knowledge: Towards an inter- and transdisciplinary framework for sustainable pathways of palm oil production. NJAS Wageningen Journal of Life Sciences 80 (2017). - ISSN 1573-5214 - p. 75 – 84. doi.<http://dx.doi.org/10.1016/j.njas.2017.01.001>

ICA, Palmicultura orgánica, cartilla “mis buenas prácticas agrícolas” 2015.

Jaligot, E. Adler, S. Debladis, E. Beulé, T. Richaud, F. Ilbert, P. Finnegan, E. and Rival, A. (2011) Epigenetic imbalance and the floral developmental abnormality of the in vitro-regenerated oil palm *Elaeis guineensis*. Annals of Botany, V. 108, (8), pp 1453-1462.
<https://doi.org/10.1093/aob/mcq266>

Jayanthi M, Susanthi B, Mohan N, y Mandal P. (2015). In vitro somatic embryogenesis and plantlet regeneration from immature male inflorescence of adult *dura* and *tenera* palms of *Elaeis guineensis* (Jacq). Springer plus 4: 256 doi: 10.1186/s40064-015-1025-4

Lee, M. Xia, J. Zou, Z. Ye, J. Rahmadsyah, Alfiko Y, Jin, J. Lieando, J. Purnamasari, M.

Lim, C. Suwanto, A. Wong, L. Chua, N. & Yue, G. (2015). A consensus linkage map of oil palm and a major QTL for stem height. Nature. Scientific Reports 5, Article number: 8232

Martínez, G. Sarria, A. Torres, G. Varón, F. Ariza, J. Rodríguez, J. (2008). *Phytophthora palmivora* es el responsable de las lesiones iniciales de la Pudrición del cogollo de la palma de aceite en Colombia. Palmas. Vol.29 (Edición Especial). Recuperado mayo de 2017 <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1355/1355>

Martínez, G. (2010). Pudrición del cogollo, Marchitez sorpresiva, Anillo rojo y Marchitez letal en la palma de aceite en América. Palmas. Vol. 31 No. 1. 43-53.

Martínez, G. Sarria, A. Torres, G. Varón, F. (2010). Avances en la investigación de *Phytophthora palmivora*, es el agente causal de la pudrición del cogollo de palma de aceite en Colombia. Palmas. Recuperado mayo de 2017 de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1472/1472>

Martínez, G. Arango, M. Torres, G. Sarria, G. Vélez, D. Rodríguez, J. Mestizo, Y. ...& Guest, D. (2013). Avances en la investigación sobre las dos enfermedades más importantes en la palma de aceite en Colombia: La pudrición del cogollo y la Marchitez letal. Palmas, 34(1), 39 – 47.

Meilina, Ong-A. Jared, O. Nan, J. Siew-Eng, O. Sau-Yee, K. Norashikin, S. Sarpan, N...y Martienssen, R. (2015). Loss of Karma transposon methylation underlies the mantled somaclonal variant of oil palm. *Nature* 2015,525 (7570)533-537.doi:10.1038/nature/15365

Mesa, J.(2016). La productividad, un compromiso gremial. *Revista Palmas*. Bogotá (Colombia) vol. 37 (4) 56-65.

Montoya, C. Avilla, K. Reyes, P. Navia, M. Romero, H. (2014). Secuencia del genoma de especies vegetales: implicaciones y perspectivas. *Palmas*.Vol.35 (3)2014. Recuperado agosto de 2017 de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/issue/view/1162/showToc>

Montoya, C. Cochard, B. Flori, A. Cross, D. Cuellar, T. Summo, M. Billotte, N. (2014). Genetic architecture of palm oil fatty acid composition in cultivated oil palm (*E. guineensis Jacq.*) compared to its wild relative *E. oleífera* (H.B.K.) Cortés. *PloS One*,9,e95412.doi.10.1371/journal.pone.0095412

Mood, N. Izzuddin, A. Mohamad, B. Seman, A. Bahrom, E. (2016). El uso de sensores remotos para detectar la infección por *Ganoderma*.*Palmas*,37(Especial Tomo I).140-150. Recuperado julio de 2017 de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/issue/view/1308/showToc>

Mosquera, M; López,D. (2017). Aceite de palma certificado sostenible: análisis de la cadena de valor. *Palmas*, 38(1).11-25. Recuperado agosto de 2017 de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/issue/view/1319/showToc>

Navia, E; Restrepo, E; Romero, M. (2014). Response of six sources of oil palm planting materials from Malaysia planted in the eastern plains in Colombia to bud rot. Journal of oil palm research Vol 26(1), Marzo, 2014 pp. 73-83

Noreña C. Aya, H. Lemus L.; Torres G. Varón, F. Martínez, G. (2011). Evaluación de tratamientos químicos y prácticas culturales para el manejo de Pudrición de cogollo (PC) de la palma de aceite en plantas de vivero, en Tumaco. Palmas Vol. 32 No.2, 27–32.

Parra-Henao G. (2010). Sistemas de información geográfica y sensores remotos. Aplicaciones en enfermedades transmitidas por vectores. CES Med. Vol. 24 No.2, 75-89.

Paterson, A. Bowers, J. Bruggmann, R. Dubchak, I. (2009) The Sorghum bicolor genome and the diversification of grasses. Nature. Vol. 457. No. 7229. 551-556 doi: 10.1038/nature07723

Pootakham, W. Nukoon, J. Panthita, R. Jeremy, R. Chutima, S. Duangjai, S. Somvong, T. y Sithicchoke, T. (2015). Genome-wide SNP discovery and identification of QTL associated with agronomic traits in oil palm using genotyping-by-sequencing (GBS). Genomics. [http: dx.doi.org/10.1016/j.ygeno.2015.02.02](http://dx.doi.org/10.1016/j.ygeno.2015.02.02)

Rajanaidu, N. (2016). Una mirada al mejoramiento genético de la palma de aceite en los últimos cincuenta años: una aventura personal. Palmas 37(Especial Tomo I), pp. 190-202.

Rani, K. Prasad, M. Arulraj, S. Monica, B. (2015). Use of Farmer's Portal for dissemination of oil palm agro-management technology in India. Journal of Plantation Crops.2015,43 (3):250-253.doi:10.19071/jpc.2015.v43.i3.2862

Rival, A. (2017). Breeding the oil palm (*Elaeis guineensis Jacq.*) for climate change.OCL, 2017.24(1) doi: 101051/ocl/2017001

Romero, H. (2013). Avances en el desarrollo de materiales resistentes a la PC. Palmas.34 (2)95-108. Recuperado agosto de 2017 de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/issue/archive>

Rocha, P. (2005). Empleo de técnicas moleculares para la caracterización de hongos que afectan la palma de aceite. Ceniavances 128: 1-4.

Rocha, P. (2007). Cultivo de Tejidos: Una Herramienta Valiosa para el Desarrollo de la palma de aceite en Colombia. Palmas. V. 28 (1).

Sage, R. Sage, T. and Kocacinar, F. (2012). Photorespiration and the evolution of C4 photosynthesis. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 63: 19–47.

Sarria, A. Torres, G. Varón, F. Mestizo, A. Betancourt, W. García, A. Becerra J. (2016). Pudrición del cogollo: avances, retos y oportunidades en el manejo integrado de esta enfermedad. Palmas.37 (4)91-107.2016 Consultado en la web el 23 de julio de 2017. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11966/11958>

Sarria, A. Torres, G. Varón, F. Mestizo, A. Betancourt, W. García, A. Becerra, J. (2015). Histopathological studies of the process of *Phytophthora palmivora* infection in oil palm. Eur J Plant Pathol DOI 10.1007/s10658-015-0810-9

Schnable, P. Ware, D. Fulton, R. Stein, J. ... Wilson, R. (2009). The B73 Maize Genome: Complexity, Diversity, and Dynamics. Science. Vol. 326. 1112-1115 doi: 10.1126/science.1178534

Schornack, S. Huitema, E. Cano, L. Bozkurt, T. Oliva, R. Van Damme, M. Schwizer, S. Raffaele, S. Chaparro, A. Farrer, R. Segretin, M. Bos, J. Haas, B. Zody, M. Nusbaum, Ch.

Win, J. Thines, M. & Kamoun, S. (2009). Ten Things to Know About Oomycete Effectors. *Molecular Plant Pathology* (2009) 10(6), 795–803. doi: 10.1111/J.1364-3703.2009.00593.X

Schornack, S. Fawke, S. Doumane, M. (2015). Oomycetes Interactions with Plants: Infection Strategies and Resistance Principles. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. Vol 79 No. 3. Pp 263-273. Doi: 10.1128/MMBR.00010-15.

Schornack, S. (2016). Nuevas estrategias para el control de enfermedades de la palma de aceite mediante la investigación de patógenos de la planta. *Palmas* 37 (Especial Tomo I) 119-122. Consultado en la web el 23 de julio de 2017. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11966/11958>

Schlüter, U. (2016). The Road to C₄ Photosynthesis: Evolution a Complex Trait via Intermediary States. *Plant Cell Physiol.* (57)5:881-889(2016) doi:10.1093/pcp/pw009

Singh R. Low, T. Ooi, C. Ong-Abdullah, M. Ting, C. Nagappan, J. Nookiah, R...y Martienssen, A. (2013). The oil palm SHELL gene controls oil yield and encodes a homologue of SEEDSTICK. *Nature*. 500 (7462): 340-344. doi: 10.1038/nature12356. Epub 2013 Jul 24.

Singh, R. Low, E. Ooi, L. Ong-Abdullah, M. Nookiah, R. Ting, N. ... & Sambanthamurthi, R. (2014). The oil palm VIRESCENS gene controls fruit colour and encodes a R2R3-MYB. *Nature communications*, 5. Recuperado en marzo de 2017 de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4078410/>

Silva, A. Martínez, G. (2009). Plan Nacional de Manejo de la Pudrición del Cogollo Fedepalma - Cenipalma National Plan for the Management of Bud Rot Fedepalma - Cenipalma, Palmas Vol. 30 No. 3, 97-121

Somyong, S. Poopear, S. Jomchai, N. (2015). The AKR gene family and modifying sex ratios in palms through abiotic stress responsiveness. *Funct Integr Genomics* 15: 349. DOI:10.1007/s10142-014-0423-y

Somyong, S. Poopear, S. Sunner, SK. (2016). ACC oxidase and miRNA 159a, and their involvement in fresh fruit bunch yield (FFB) via sex ratio determination in oil palm. *Mol Genet Genomics* 2016, 291 (3): 1243–57.doi:10.1007/s00438-016-1181-4.

Soh, A. Wong, G. Tan, C, Chew, P. Chong, S. Ho, Y. Wong, C. Choo, C. Nor Azura, H. and Kumar, K. (2011). Commercial-scale propagation and planting of elitepalm clones: Research and development towards realization. *Journal of Oil Palm Research*. Vol. 23 No. 1. Pp. 935-952.

Street, H. (1977). Cell(Suspension) Culture techniques. En Street H.E (Ed.) *Plant tissue and cell culture*.Blackwell Scientifing Publishing.,Oxford;England pp.61-102.

Sunil, M. Hariharan, A. Nayak, S. Gupta, S. Nambisan, S. Gupta. R. Panda, B.

Choudhary, B. Srinivasan, S. (2014) The Draft Genome and Transcriptome of *Amaranthus hypochondriacus*: A C4 Dicot Producing High-Lysine Edible Pseudo-Cereal. *DNA Research*, Volume 21, Issue 6, Pages 585–602, <https://doi.org/10.1093/dnares/dsu021>

Torres, E. (2016). Comportamiento del híbrido interespecífico OxG, Coarí x La Mé en Palmeras del Ecuador. *Palmas* 37 (Especial Tomo1) 294-298. Recuperado agosto de 2017 de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11913/11906>

Torres, G. Sarria, A. Martinez, G. Varón, F. Drenth, A. Guest, D. (2016). Bud Rot Caused by *Phytophthora palmivora*: A Destructive Emerging Disease of Oil Palm. *Phytopathology Review*.vol106 (4).2016.<http://dx.doi.org/10.1094/PHYTO-09-15-0243-RVW>

Vleeshouwers, VG. Raffaele, S. Vossen, J. Champouret, N. Oliva, R. Segretin, M. Rietman, H. Cano, L. Lokossou, A. Kessel, G. Pel, M. Kamoun, S. (2011). Understanding and exploiting late blight resistance in the age of effectors. *Annu Rev Phytopathol.* 2011;49 :507-31.

Viñas, M. Jiménez, V. (2011). Factores que influyen en la embriogénesis somática in vitro de palmas (Arecaceae). *Rev. Colomb. Biotecnol.* Vol. 13 No. 2, 229-242.

Wang, S. (2017). C₄ Photosynthesis in C₃ rice: a theoretical analysis of biochemical and anatomical factors. *Plant, Cell and Environment* (2017)40, 80-94.[doi.101111/pce.12834](https://doi.org/10.1111/pce.12834)