

■ Capítulo 9

Pruebas de progenies F2 y metodología para el mejoramiento acelerado de la palma de aceite

Silvio Bastidas P., Eduardo Peña R., Rafael Reyes C.

El mejoramiento genético de algunos cultivos perennes, como el de palma de aceite *E. guineensis*, presenta obstáculos con los sistemas tradicionales de selección. Uno de ellos es la duración de cada ciclo (Le Guen et al., 1993), que en la palma es de diez años (Bastidas et al., 2005) (figura 9.1). El problema es mayor cuando se requiere más de un ciclo para lograr el objetivo, como en la introgresión de genes entre las especies *E. oleifera* y *E. guineensis* (Bastidas et al., 1993). Otro obstáculo es la baja densidad de siembra, que es de 143 plantas/ha en *E. guineensis* (Da Rocha et al., 2010; Rojas, 1981) y de 115 plantas/ha en los híbridos interespecíficos O × G (Bastidas et al., 2013). Estas bajas densidades de siembra implican grandes áreas de terreno para evaluar bajo número de progenies por ciclo,¹ entre otras razones porque el tamaño de la parcela experimental altera los resultados (Hardon, 1983). Para evitar estos obstáculos,² se desarrolló una metodología de selección acelerada, llamada “prueba de progenies F2”³ (PPF2), en principio concebida para monitorear la transmisión y conservación de

- 1 Para evaluar 20 progenies bajo un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones de 16 palmas (unidad experimental), se requieren 11 ha de terreno (área experimental), con bordes de protección de 13 ha
- 2 Debido a la naturaleza perenne de la palma de aceite, su largo ciclo biológico, y el requerimiento de grandes áreas de terreno, algunos investigadores consideran a esta especie como el candidato ideal para aplicar herramientas genómicas dirigidas a su mejoramiento genético (Meerow et al., 2012).
- 3 P₀: generación parental; F1: primera generación de cruzamiento; F2: segunda generación de cruzamiento.

la resistencia a la enfermedad pudrición del cogollo (PC) en generaciones avanzadas de cruzamiento y retrocruzamiento (Bastidas et al., 2013).

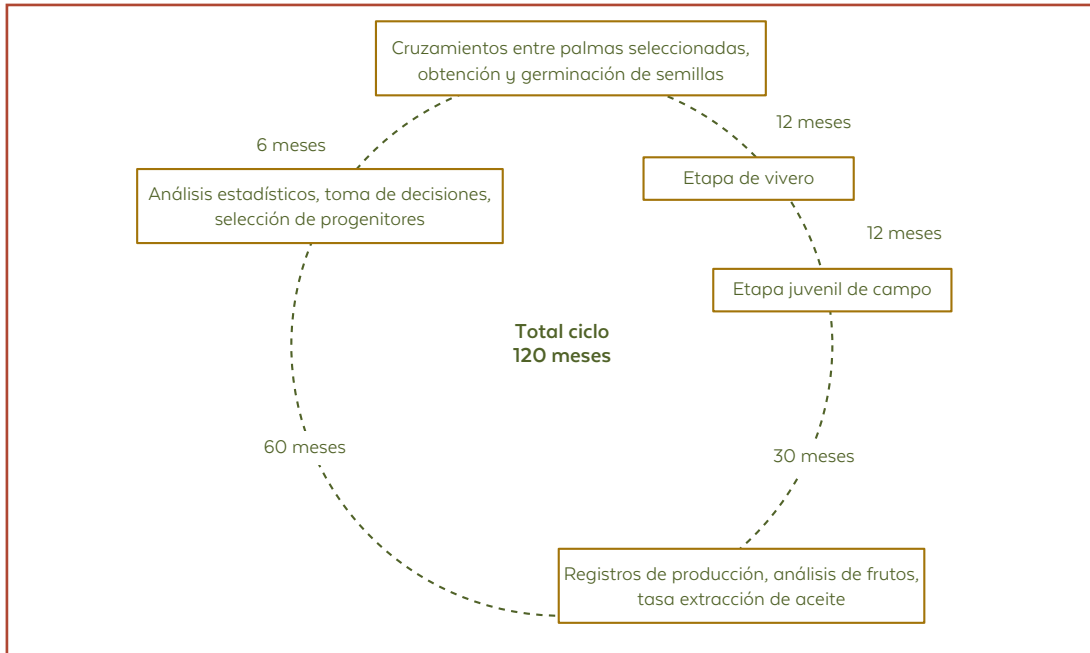


Figura 9.1. Representación gráfica de un ciclo convencional de selección en la palma de aceite *E. guineensis*.

Fuente: Elaboración propia

Los obstáculos planteados son la principal justificación para la adopción de la PPF2, ya que con ella pueden seleccionarse progenitores en dos generaciones consecutivas, la parental y la progenie F1, con base en el comportamiento de las progenies F2.

Soporte técnico

Las pruebas de progenies son una metodología de selección ampliamente usada en mejoramiento animal, sobre todo para estimar el valor genético y la capacidad de herencia del progenitor masculino, a partir del comportamiento promedio de su descendencia (es lo más cercano a medir el valor reproductivo)

(Falconer, 1984). En la palma de aceite, la selección de los progenitores masculinos también se lleva a cabo con base en pruebas de progenies, porque estos progenitores no pueden ser valorados por su propia producción debido a que tienen esterilidad femenina (Forster et al., 2017), lo cual requiere un ciclo adicional de evaluación de las progenies, es decir, otros diez años.

La PPF2 es una metodología de selección con la que se puede estimar el comportamiento de las progenies F1 y de los padres P₀ con respecto a una característica determinada, con base en el comportamiento de las progenies F2, sin realizar la evaluación completa de las progenies F1 (Bastidas et al., 2013). Desde el punto de vista técnico, la PPF2 es una extensión de la prueba de progenies tradicional, y es apropiada para trabajar con características de alta expresión, fáciles de observar en campo, especialmente cuando el objetivo inmediato no es la producción, como cuando se quiere observar la reacción de la planta a una enfermedad con sintomatología definida, típica, o la proporción de ácidos grasos insaturados, o la precocidad.

La PPF2 se fundamenta en el siguiente postulado: *el genotipo de un organismo es inmutable después de la unión de los gametos masculino y femenino, lo que garantiza la superioridad de un genotipo en cualquier etapa de su vida*. Expresado de otra forma, el genotipo heredado por una planta no cambia con la edad de esta (Bastidas et al., 2013), aun si se consideran diferentes grados de expresión de las características por acción de los genes o como respuesta al medio ambiente y a su interacción con el ambiente (Márquez, 1985; Molina, 1992). Se han encontrado correlaciones significativas entre el rendimiento del fruto en los cuatro primeros años y el rendimiento de la producción posterior, tanto para familias como para palmas individuales; por lo tanto, es posible usar los datos de producción de los primeros años como base para la evaluación de palmas progenitoras (Sparnaaij & Van der Vossen, 1980).

Al aplicar el postulado anterior a la palma de aceite, se debe aceptar que la superioridad de algunas palmas, sin importar su edad, obedece a su constitución genética. Además, las leyes de la herencia aseguran que una parte de sus descendientes será igual o superior. Por lo tanto, palmas jóvenes, que inician producción, pueden utilizarse en procesos de mejoramiento. Es recomendable trabajar con características de alta expresión, fáciles de monitorear en la etapa juvenil de producción (Bastidas et al., 2013).

Descripción de la metodología

Consiste en producir generaciones sucesivas lo más temprano posible en el ciclo biológico de las palmas. En la práctica, la metodología para mejoramiento acelerado consiste en aprovechar las primeras inflorescencias de una palma joven, para producir una generación de cruzamiento (F1) y, a partir de esta, generar otra generación de cruzamiento (F2) (Bastidas et al., 2013). La selección de progenitores se basa en el comportamiento de las progenies F2. En este caso, el propósito de las F1 únicamente es la generación de las progenies F2, porque las evaluaciones se realizan sobre estas últimas. Un ciclo completo de PPF2 se ilustra en la figura 9.2.

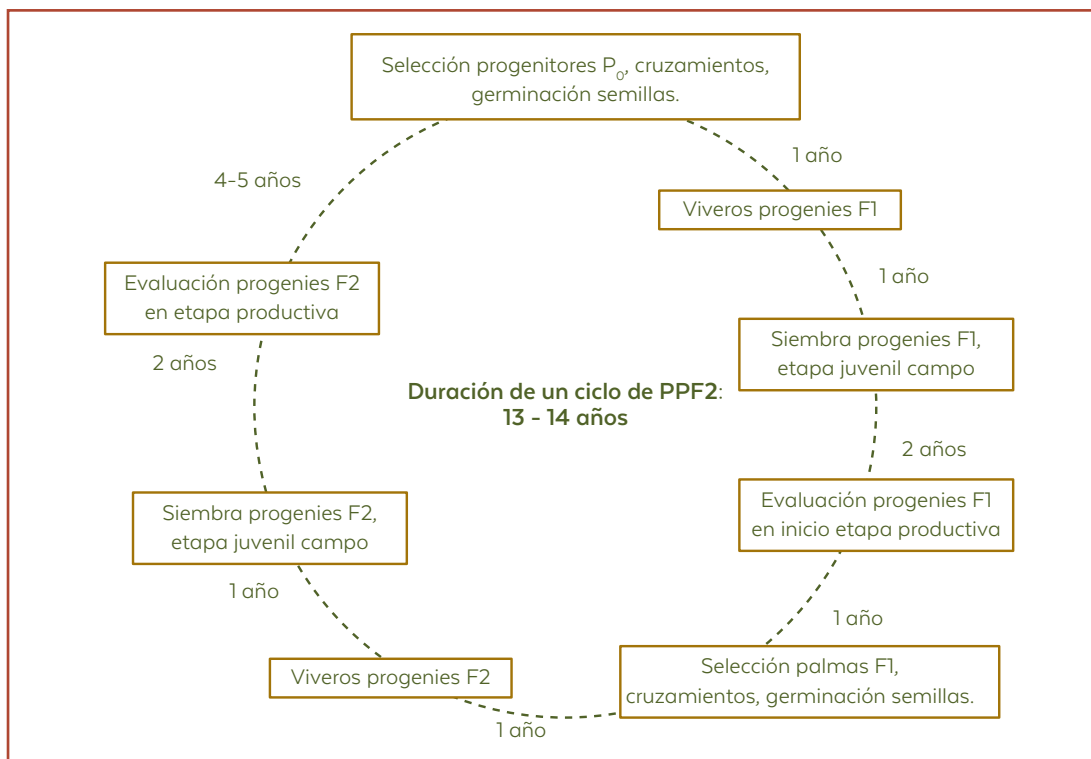


Figura 9.2. Representación gráfica de un ciclo completo para una PPF2 en la palma de aceite *E. guineensis*.

Fuente: Elaboración propia

Objetivos de la prueba de progenies F2

En la palma de aceite, las pruebas de progenies tradicionales se implementan con varios propósitos: confirmar el potencial productivo de los progenitores Pisífera usados como padres, los cuales son estériles en su parte femenina (Kushairi et al., 2000); valorar el potencial productivo de las progenies Ténera,⁴ y obtener estimaciones confiables de la habilidad combinatoria general y específica de los progenitores (Sambanthamurthi, 2009).

La PPF2 apunta a los mismos propósitos y además a lo siguiente:

- Seleccionar al mismo tiempo progenitores en la generación F1 y en la generación paternal (P_o) con base en el comportamiento de las progenies F2.
- Explorar con alto grado de confianza la herencia de una característica, dos o más generaciones después del cruzamiento de los padres donantes de la característica (por ejemplo, la tolerancia a una enfermedad).
- Reafirmar el potencial productivo de las progenies F2 de un grupo de progenitores P, sin realizar el ciclo de evaluación de las progenies F1.

En la palma de aceite, llegar a un segundo o tercer ciclo de selección equivale a 20 o 30 años, respectivamente. Lo importante de la PPF2 no es solo el ahorro de tiempo, sino también la posibilidad de visualizar en corto tiempo el producto que se obtendrá al desarrollar un proyecto de investigación a largo plazo, con más de dos ciclos de selección. Por ejemplo, con esta metodología se comprobó que los segregantes híbridos $O \times G$ de la primera generación de retrocruzamiento (RC1) entre las palmas de aceite *E. oleifera* y *E. guineensis* conservan la tolerancia a la enfermedad de la PC, aportada por la especie resistente *E. oleifera*; además, los híbridos recuperan la fertilidad del polen y parte del aceite (tasa de extracción) perdido en la primera generación $O \times G$ sin evaluar. Gracias a estos beneficios fue posible desarrollar tres cultivares híbridos aceptados en el Registro Nacional de Cultivares del ICA: $O \times G$ Corpoica Elmira (ICA, 2011), Pacífico RC1 (ICA, 2014a) y Tumaco RC1 (ICA, 2014b). Los híbridos $O \times G$ Corpoica Elmira (F1) se obtienen mediante cruzamiento controlado entre palmas americanas *E. oleifera* (O)

⁴ En palma de aceite africana existen dos formas o tipos de palma, las Dura y las Pisífera; el tercer tipo, Ténera, es un híbrido entre las dos anteriores (Dura \times Pisífera) (Kushairi et al., 2000).

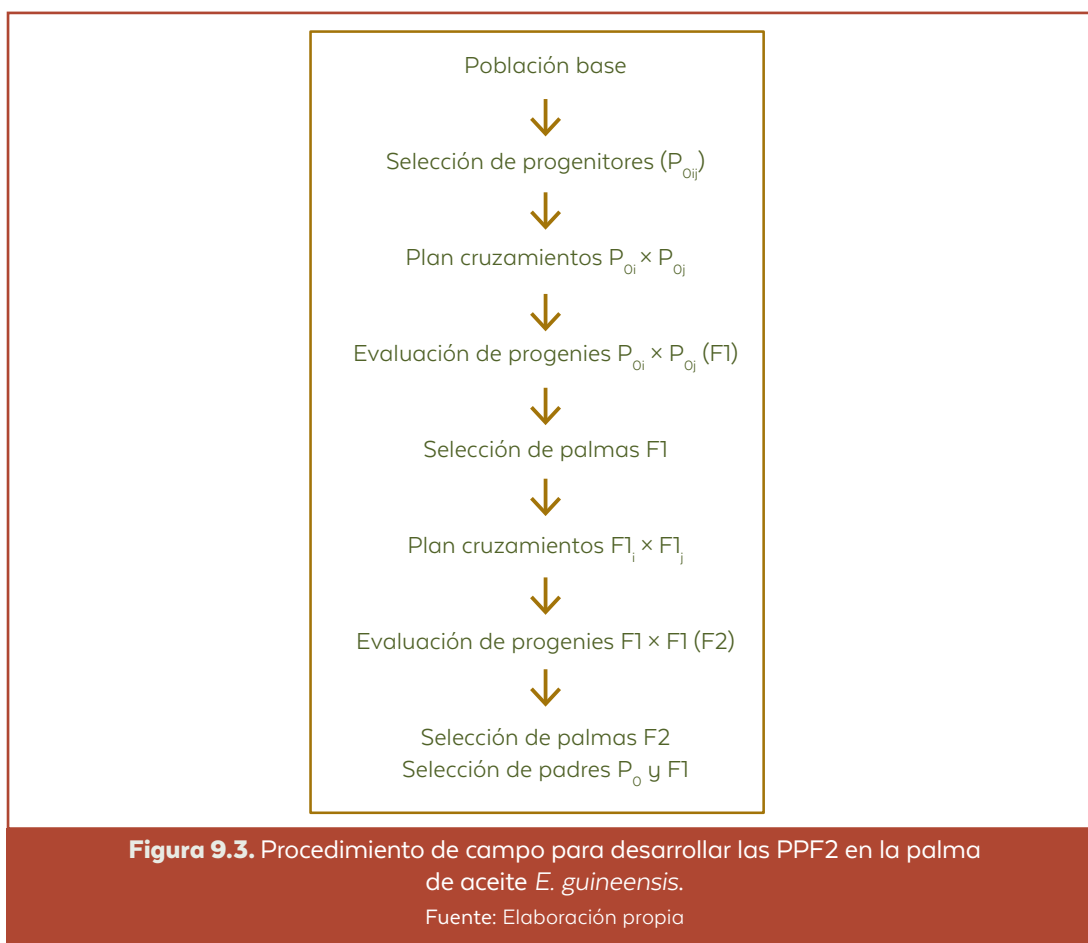
y palmas africanas *E. guineensis* (G) (Bastidas, 2013). Los híbridos Pacífico RC1 y Tumaco RC1 se consiguen con cruzamientos regresivos de los híbridos O × G hacia la especie *E. guineensis* de los tipos Dura y Pisífera (G) (Bastidas et al., 2013).

Trabajo de campo para establecer la PPF2

El procedimiento es el siguiente:

1. Iniciar con una población mejorada.
2. Seleccionar progenitores con la característica objetivo (característica que se monitorea en los descendientes a través de dos o más generaciones consecutivas).
3. Realizar un plan de cruzamientos para producir progenies F1.⁵
4. Establecer las progenies F1 en campo.
5. Seleccionar palmas F1 en etapa inicial de producción, con base en precocidad, floración normal, uno a dos años de registro de producción y tasa de extracción de aceite.
6. Llevar a cabo un plan de cruzamientos para producir las progenies F2.
7. Establecer las pruebas de progenies F2 (PPF2).
8. Evaluar las PPF2 y confirmar la presencia de la característica objetivo en estas progenies.
9. Confirmar la selección de progenitores P₀ y F1. El proceso se observa en el flujograma de la figura 9.3.

⁵ Los planes de cruzamiento se realizan con base en un diseño genético de apareamientos. En el programa de mejoramiento de la palma de aceite de AGROSAVIA se utiliza el diseño genético Carolina Norte I (Márquez, 1985; Sambanthamurthi et al., 2009; Vallejo et al., 2005).



Aplicación de la PPF2 en las especies *E. oleifera* y *E. guineensis*

Antecedentes. Los híbridos O × G del ecotipo Cereté del valle del Sinú fueron creados como respuesta a la PC, la cual arrasó con la plantación La Arenosa de Coldsá, ubicada en Turbo, Antioquia (Rojas, 1972), y para explorar la posibilidad de incorporar a la palma *E. guineensis* características de la palma americana *E. oleifera*, como baja tasa de crecimiento, alta proporción de ácidos grasos insaturados, carotenos y tocoferoles (Chinchilla et al., 2007; Sánchez Chia, 2012)..

Entre 1977 y 1990 se realizaron pruebas de evaluación con los híbridos O × G del Sinú, “pioneros” de los actuales híbridos O × G de AGROSAVIA, en el C. I. El Mira, ubicado en Tumaco. Los resultados confirmaron la resistencia de los híbridos O × G Sinú a enfermedades, entre ellas la PC (Meunier & Boutin, 1975; Meunier et al., 1976; Meunier, 1991). Esta tolerancia ha sido reportada por varios investigadores, incluso en diferentes tipos de híbridos O × G.⁶ El costo de esta solución tecnológica contra la PC fue una reducción significativa de la tasa de extracción de aceite con respecto a los cultivares Ténera (11 a 15 % contra 22 a 24 % de extracción, respectivamente) (Bastidas, 2013). Por esta razón, quedaron relegados en bancos de germoplasma y colecciones de trabajo, o simplemente como muestras en algunas plantaciones, lo que planteó las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Es posible recuperar la tasa de extracción de aceite mediante cruzamientos regresivos hacia la especie *E. guineensis*?
- ¿La resistencia a la PC se mantiene en generaciones sucesivas de retrocruzamiento hacia la especie *E. guineensis*?
- ¿Qué se puede esperar de los retrocruzamientos hacia la especie *E. guineensis*, susceptible a la PC pero con alta productividad de aceite?
- ¿El perfil lipídico del aceite se altera mediante diferentes cruzamientos regresivos?
- ¿Qué se puede esperar de los retrocruzamientos hacia la especie *E. oleifera*, resistente a la PC pero con baja productividad de aceite?

Prueba experimental

La PPF2 se desarrolló en el C. I. El Mira. Se puso en práctica entre 1993 y 2002 con el proyecto “Introgresión de genes entre las especies *E. guineensis* y *E. oleifera*” (Bastidas et al., 1993). En la tabla 9.1 se indican los materiales involucrados en la investigación.

⁶ La resistencia fue reportada por varios investigadores a medida que los híbridos se exponían a la enfermedad. Los autores se indican a continuación según el orden cronológico de sus reportes: Méndez (1974); Vallejo y Cassalet (1975); Meunier y Boutin (1975); Meunier et al. (1976); Turner (1981); Hartley (1988); Le Guen et al. (1991); Franqueville (2001); Corley y Tinker (2003); Bastidas et al. (2003); Amblard et al. (2004); Torres et al. (2004); Zambrano (2004); Chinchilla et al. (2007); Barba. (2010).

Tabla 9.1. Recursos genéticos de la palma de aceite involucrados en las pruebas de progenies F2

Tipo de palma	Nombres comunes o nombre experimental	Convención
Palma africana de aceite <i>E. guineensis</i>	Palma africana, palma de aceite	G
Palma americana de aceite <i>E. oleifera</i>	Palma nolí, palma americana de aceite	O
Híbridos interespecíficos entre las especies <i>E. oleifera</i> y <i>E. guineensis</i>	Híbridos O × G Híbridos F1	F1
Híbridos interespecíficos de primera generación de retrocruzamiento	Híbridos O × G RC1 Híbridos RC1	RC1
Híbridos interespecíficos de segunda generación de retrocruzamiento	Híbridos O × G RC2 Híbridos RC2	RC2

Fuente: Elaboración propia

La proporción teórica de segregantes en un cruzamiento regresivo es 1:1, esto es, 50 % de plantas afines a un progenitor y 50 % al otro progenitor. En cada uno de los ciclos de RC se espera un 50 % de palmas afines al híbrido O × G y el otro 50 % afín a la palma *E. guineensis*, y la diferencia estaría en el aporte genético de los progenitores P₀. En los segregantes híbridos O × G RC1 se espera 75 % de carga genética de *E. guineensis* y 25 % de *E. oleifera* (Bastidas et al., 2007), mientras que en los híbridos O × G RC2, un 87,5 % de carga genética de *E. guineensis* y 12,5 % de *E. oleifera*. En la práctica, estas proporciones esperadas no se cumplen; por el contrario, los RC en palma de aceite segregan series de fenotipos diferentes, los cuales muestran características extremas e intermedias entre sus progenitores (Escobar & Alvarado, 2004). La prueba total se realizó según la siguiente secuencia (Bastidas et al., 2007):

- Entre 1993 y 1994, en el C. I. El Mira se produjeron semillas de cinco híbridos RC1 mediante cruzamientos regresivos del híbrido interespecífico F1 hacia *E. guineensis* (tabla 9.2).
- En 1994 se establecieron en campo las progenies de los cinco RC1.
- En etapa inicial de producción se realizó la selección de palmas RC1 afines a O × G para producir las progenies RC2 mediante cruzamiento con polen

de *E. guineensis*. Los criterios de selección fueron precocidad en floración y fructificación, emisión de inflorescencias femeninas fértiles y formación de racimos normales.

Tabla 9.2. Primera generación de retrocruza entre las especies *E. oleifera* y *E. guineensis*, mediante cruzamiento de palmas del híbrido O×G (F1) con polen de *E. guineensis*

Identificación de los cruces retrocruzamientos (RC1)	Número de plantas	
	Sembradas	Experimentales
EM-0383H×EM-0048D	61	45
EM-1107H×EM-1469D	32	25
EM-0617H×LB-0256D	23	17
EM-0071H×EM-0048D	30	22
EM-0617H×EM-3713P	76	49

H: híbrido O×G; D: Dura; P: Pisífera; EM: El Mira (Colombia); LB: Lobé (Camerún).

Fuente: Bastidas et al. (2013)

- En 1998 se produjeron semillas de trece RC2, al retrocruzar palmas de los híbridos RC1 con polen de palma de *E. guineensis* (tabla 9.3).
- En 1999 se establecieron en campo trece progenies RC2, que fueron evaluadas en campo para resistencia a enfermedades. Por esa época, la PC presentaba bajos niveles de incidencia en Tumaco y los casos eran raros y dispersos, aunque prevalecían enfermedades letales como mancha anular, marchitez sorpresiva y anillo rojo. La PC adquirió características epidémicas a partir de 2004, cuando las progenies RC2 habían cumplido cinco años de sembradas en campo. Lo que se observó entonces es que los segregantes híbridos O×G eran resistentes a la PC, mientras que los segregantes *E. guineensis* eran afectados por la enfermedad (Bastidas et al., 2007).

Tabla 9.3. Segunda generación de retrocruza entre las especies *E. oleifera* y *E. guineensis*, mediante cruzamiento de palmas de los híbridos RC1 con polen de *E. guineensis*

Identificación de los híbridos RC2 (híbrido RC1 × palma de aceite)	Plantas del híbrido RC2 sembradas en campo
EM0208RC1 × EM0048D	37
EM0106RC1 × EM0048D	31
EM0311RC1 × EM3715P	39
EM0205RC1 × EM0048D	13
EM0502RC1 × EM0048D	24
EM1413RC1 × EM0254T	44
EM0602RC1 × EM0418D	32
EM0602RC1 × EM0048D	32
EM1002RC1 × EM0205T	10
EM0916RC1 × EM0205T	13
EM1310RC1 × EM0254T	25
EM1602RC1 × EM0254T	12
EM0913RC1 × EM0205T	40

EM: serie EIMira; RC1: primera generación de retrocruzamiento hacia la especie *E. guineensis*; D: Dura; P: Pisífera; T: Ténera.

Fuente: Elaboración propia

- En forma paralela, desde 1995 hasta 2002 se evaluaron las cinco progenies RC1, y los resultados validaron la metodología acelerada (PPF2). A continuación, se presenta un resumen del comportamiento de los híbridos RC1 con base en siete años de observación y cuatro de registros de producción.

Comportamiento de los híbridos RC1

Tipos de segregación. Como se indicó antes, la proporción teórica de segregantes en un cruzamiento regresivo es 1:1, es decir, 50 % de plantas afines a un progenitor y 50 % al otro progenitor (hipótesis de trabajo). Los resultados indicaron que 62,7 % de las palmas RC1 eran segregantes híbridos O × G, y 37,3 %, segregantes afines al genotipo *E. guineensis*. Estos valores no se ajustan a la proporción esperada para un cruzamiento regresivo (prueba de la ji al cuadrado [χ^2]) (Little & Hills, 1976; Steel & Torrie, 1985).

El retrocruzamiento EM-1107H × EM-1469D se aproximó a la proporción esperada, con 52 y 48 % respectivamente. En contraste, 91 % de las palmas fueron híbridos O × G en las progenies EM-0071H × EM-0048D y únicamente 9 % de las palmas resultaron afines a la especie *E. guineensis* (tabla 9.4). Las desviaciones en la proporción se atribuyen a la esterilidad de los híbridos F1, lo cual modificó el número y tipo de gametos disponibles para la fecundación. La baja fertilidad de los híbridos se manifiesta en el predominio de frutos partenocárpicos en racimo (Hardon & Tan, 1969).

Tabla 9.4. Prueba de ji cuadrado (X^2) para el porcentaje de segregación en las progenies de cinco RC1

Retrocruzamientos	Número de palmas (ud.)	Segregantes híbridos (%)	Segregantes <i>E. guineensis</i> (%)	Prueba de la X^2
EM-0383H × EM-0048D	45	68,9	31,1	0,0112 ns*
EM-1107H × EM-1469D	25	52,0	48,0	0,8414**
EM-0617H × LB-0256D	17	82,4	17,6	0,0076 ns
EM-0071H × EM-0048D	22	90,9	9,1	0,0001 ns
EM-0617H × EM-3713P	49	83,7	16,3	<0,0001 ns
Población total	158	75,3	24,7	<0,0001 ns

* La probabilidad de obtener una desviación tan grande como la observada por casualidad es <1 %.

** La probabilidad de obtener una desviación tan grande como la observada por casualidad es de 84 %.

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, la desviación de la proporción 50:50 también se puede explicar por dos acciones de procedimiento:

1. En vivero se seleccionaron las plantas con mayor desarrollo, mayor vigor y mejor apariencia fenotípica, como se recomienda en palma de aceite (Bastidas et al., 2002). Esta acción propició la selección indirecta de híbridos O × G (ya que estas son características propias de los híbridos) y el descarte de palmas *E. guineensis*.
2. La prueba experimental se llevó a cabo con un bajo número de plantas.

Los retrocruzamientos en palma de aceite dan lugar a la segregación de series de fenotipos con características extremas e intermedias (Escobar & Alvarado, 2004).

Características vegetativas. Los híbridos RC1 presentaron menor tasa de crecimiento (24,6 cm/año) que el cultivar Ténera Corpoica Elmira (46,4 cm/año), lo cual confirma que los híbridos RC1 aún conservan el aporte genético de la generación parental de *E. oleifera* (tabla 9.5). Cada hoja de los híbridos RC1 tuvo 8,8 m² de superficie foliar, lo que contrasta con los 6,5 m² del progenitor recurrente *E. guineensis*. Las palmas RC1 demuestran su vigor híbrido en las características de la hoja: largo, peso y área de la hoja; largo y ancho de los foliolos, vigor del pecíolo y raquis (Bastidas et al., 2007).

Los RC1 tuvieron los siguientes grados de expresión de vigor heredados del progenitor híbrido F1: diámetro del tallo (81 cm), largo del pecíolo (1,4 m), largo del raquis (6,2 m) y largo de la hoja (7,6 m). La expresión de estas características fue mayor en las palmas RC1 seleccionadas por producción: diámetro del tallo (83,5 cm), largo del pecíolo (1,4 m), largo del raquis (6,4 m) y largo de las hojas (7,7 m) (tabla 9.5). En estudios previos se había encontrado una alta correlación directa entre el diámetro y altura del tallo y la producción de racimos de fruta fresca (RFF) (Breure, 1987a; Hartley, 1988).

El índice de área foliar⁷ es la relación entre la superficie foliar de las palmas de una hectárea y 10.000 m² de terreno, y es un parámetro que determina el nivel de competencia entre plantas (Corley & Breure, 1981). En palma de aceite, la mayor producción de racimos por hectárea se alcanza con índices de área foliar de 6 a 7 en edad adulta (Corley, 1973). Los RC1 de la investigación aún están en etapa juvenil de producción y por eso los índices de área foliar son menores al óptimo, aunque 5,3 de índice en los RC1 seleccionados es consecuente con su mayor producción (35 t/ha.) (Bastidas et al., 2007).

La relación de área foliar se define como la proporción entre el área de las hojas producidas por una palma en un determinado periodo de tiempo, y la materia seca empleada para su crecimiento vegetativo (Corley & Breure, 1981), y constituye una característica de heredabilidad (Tan, 1978). Los híbridos RC1 emplearon en crecimiento vegetativo entre 1,7 y 2,4 m²/kg de materia seca. En los híbridos, gran parte de los fotoasimilados producidos en la fotosíntesis son utilizados para este crecimiento (Bastidas et al., 2005).

⁷ Este índice es apropiado para las palmas *E. guineensis*. Para los nuevos cultivares F1 y RC1 se deben generar otros índices. Lo mismo aplica para la relación de área foliar.

Características de producción. Contrario a los híbridos F1, los RC1 producen polen fértil y viable (Alvarado et al., 2000; Bastidas et al., 2003). Las palmas híbridas semejantes al tipo Dura, segregadas en los retrocruzamientos hacia Dura, no presentaron racimos malogrados (inflorescencias femeninas estériles), y en cambio esta anomalía fue común en las palmas híbridas afines al tipo Pisífera, segregadas en los retrocruzamientos hacia Pisífera. Estos resultados sugieren que las palmas Pisífera pueden estar involucradas en la esterilidad de los híbridos F1 (Bastidas et al., 2007). En pruebas agronómicas llevadas a cabo en Tumaco para comprobar la resistencia de los híbridos O×G a la PC, se encontró 44,2 % de viabilidad en los embriones de los híbridos O×G (F1), lo que contrasta con la viabilidad de los híbridos RC1, que fue de 93,7 %. Estos resultados indican la restauración de la fertilidad en los gametos femeninos de los RC1 (Bastidas et al., 2010). Desde tiempo atrás, se recomendaba restaurar la fertilidad de los híbridos mediante retrocruzamiento, para hacer de este cultivo una alternativa viable (Le Guen et al., 1991).

Aunque el propósito de esta primera parte de la investigación fue monitorear los aportes de la especie *E. oleifera* (resistencia a enfermedades, baja tasa de crecimiento y calidad de aceite), lo cual se cumplió, también se estudiaron algunos indicadores de producción con el fin de seleccionar palmas RC1 para dar lugar a la generación RC2 (Bastidas et al., 2007).

Con base en cuatro años de registros de producción se seleccionaron doce palmas RC1, las cuales presentaron el siguiente comportamiento: crecimiento de 25,8 cm/año; emisión de 19 hojas/año, cada una de 9,3 m² de superficie foliar, y producción de 16 racimos/palma/año, cada uno de 15,9 kg, para una producción de 35 t/ha/año, superior a las 30 toneladas producidas por el testigo Ténera al quinto año de producción (Bastidas et al. 2007) (tabla 9.5).

Tabla 9.5. Comportamiento en campo de los híbridos O × G de primera generación de retrocruzamiento (RC1) entre las especies *E. guineensis* y *E. oleifera* con algunas características vegetativas y de producción

Descriptor	0383H × 0048D	1107H × 1469D	0617H × 0256D	0071H × 0048D	0617H × 3713P	Promedio general RC1	Promedio selección RC1	Testigo Ténera Corpoica
Tasa de crecimiento del tallo (cm/año)	22,6	25,4	24,4	26,4	24,0	24,6	25,8	46,4
Diámetro del tallo (cm)	81,8	80,4	82,7	82,2	78,3	81,1	83,5	71,7
Largo del pecíolo de la hoja 25 (m)	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,2
Largo del raquis de la hoja 25 (m)	6,2	6,1	6,3	6,4	6,2	6,2	6,4	5,7
Área de la hoja 25 (m ²)	8,8	8,3	9,4	9,2	8,2	8,8	9,3	6,5
Tasa de emisión de hojas (unidad/año)	17,0	18,0	19,0	19,0	18,0	18,0	19,0	17,0
Índice de área foliar (unidad)	5,1	4,9	5,0	4,7	4,7	4,9	5,3	3,8
Relación de área foliar (m ² /kg)	2,4	2,1	1,9	1,7	2,2	2,0	1,9	2,9
Número de racimos/palma (unidad)	10,0	12,0	10,0	11,0	13,0	11,0	16,0	17,0
Peso promedio/racimo (kg)	18,4	15,5	15,8	13,4	12,5	15,1	15,9	12,4
Producción palma/año (kg)	177,5	177,7	166,2	134,1	158,9	162,9	245,1	212,4
Producción hectárea/año (t)	25,4	25,4	23,8	19,2	22,7	23,3	35,0	30,0
Índice de racimos (unidad)	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8
Frutos totales en racimo (%)	68,9	55,8	58,2	58,5	57,1	60,4	65,0	75,7
Pulpa en fruto (%)	53,0	63,8	61,3	53,1	64,1	58,0	65,9	78,9
Cuesco en fruto (%)	34,8	28,0	30,6	44,3	24,5	33,7	24,4	10,2
Almendra en fruto (%)	12,2	8,3	8,1	11,1	11,3	10,5	9,8	10,8
Aceite en racimo (%)	17,2	9,6	14,1	14,2	14,9	14,3	19,6	27,9
Producción de aceite (t/ha/año)	4,6	2,9	5,1	3,4	3,2	3,9	6,3	8,5

Nota: El índice de racimos expresa la relación entre peso seco de los racimos y producción total de materia seca por palma. Es un indicador confiable de eficiencia de la planta y su valor varía de 0 a 1 (Breure, 1987b).

Fuente: Elaboración propia

Características determinantes de la producción de aceite. Los híbridos RC1 produjeron aceite con concentraciones intermedias entre sus progenitores de ácidos grasos, saturados e insaturados, tal como se ha reportado en otras investigaciones (Choo et al., 1998; Ramírez, 2004). En líneas generales, la proporción de ácidos grasos saturados, de mayor a menor, indica el siguiente orden: *E. guineensis* > híbridos RC1 > híbridos F1 > *E. oleifera*. En cambio, la proporción de ácidos grasos insaturados, de mayor a menor, indica un orden inverso: *E. oleifera* > híbridos F1 > híbridos RC1 > *E. guineensis* (tabla 9.6). Esta variabilidad puede aumentar la oferta de aceite en función de su perfil lipídico.

En laboratorio, las selecciones RC1 produjeron 19,6 % de aceite en racimo, equivalente a una producción estimada de aceite de 6,3 t/ha/año. Este promedio aún se sitúa por debajo del rendimiento de los cultivares Ténera de palma de aceite, pero confirma la recuperación de la tasa de extracción de aceite mediante cruzamientos regresivos hacia la especie *E. guineensis* (Bastidas et al., 2007).

Tabla 9.6. Perfil lipídico de los aceites de las especies *E. oleifera* y *E. guineensis*, promedios por ácido graso

Ácido graso	<i>E. oleifera</i> tipo rojo	<i>E. oleifera</i> tipo verde	Híbridos F1	Híbridos RC1	<i>E. guineensis</i> tipo virescens	<i>E. guineensis</i> tipo nigrescens
Láurico (%)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Mirístico (%)	0,4	<0,1	0,3	0,9	1,2	1
Palmitico (%)	15,3	15,2	33,5	36,7	37	40,5
Palmitoleico (%)	1,4	1,1	0,4	<0,1	<0,1	<0,1
Esteárico (%)	0,6	0,7	0,7	5,1	4	5
Oleico (%)	70,4	68,6	55,6	46,8	48,1	44,4
Linoleico (%)	11,8	14,2	9,4	9,3	9,4	8,7
Linolénico (%)	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
Araquídico (%)	<0,1	<0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
Gondoico (%)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1
Behénico (%)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Lignocérico (%)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Fuente: Elaboración propia

Reacción a enfermedades. Ninguna de las enfermedades letales de mayor ocurrencia en la zona palmera de Tumaco —mancha anular, pudrición de cogollo, marchitez sorpresiva y anillo rojo— se presentó en los híbridos RC1 afines a los F1, durante siete años de observación en campo; en cambio, en los segregantes tipo *E. guineensis* la incidencia acumulada de casos de PC fue de 6 %. Este comportamiento comprueba que la resistencia a enfermedades transmitida por *E. oleífera* a *E. guineensis* (especies donante y recurrente, respectivamente) se mantiene dos generaciones después, en las progenies RC1 (Bastidas et al., 2007). Son muchos los estudios e investigaciones que aportan evidencia de la resistencia de los híbridos O × G a la PC, pero escasos con respecto a los híbridos RC1.

Los anteriores indicadores de producción, junto a otras ventajas como lento crecimiento, resistencia a enfermedades y calidad del aceite, hacen de los híbridos RC1 unos cultivares competitivos y sostenibles. Los RC1 se producen mediante cruzamientos controlados entre palmas de los híbridos F1 Corpoica Elmira con polen de palmas *E. guineensis* de segunda y tercera generación, del programa de mejoramiento genético de AGROSAVIA.

Como conclusión, se puede afirmar que las PPF2 aportaron respuestas a las siguientes preguntas planteadas en este capítulo:

- ¿Es posible recuperar la tasa de extracción de aceite mediante cruzamientos regresivos hacia la especie *E. guineensis*?

R.: Sí, en los RC1 los promedios poblacionales de la tasa de extracción variaron entre 14,3 y 19,6 %, mientras que en los híbridos F1 del Sinú oscilaron entre 11 y 15 %.

- ¿La resistencia a la PC se mantiene en generaciones sucesivas de retrocruzamiento hacia la especie *E. guineensis*?

R.: La resistencia se mantiene. En los RC1 no se presentaron casos de PC en etapa experimental, entre 1995 y 2002; tampoco en los RC2 desde 1999 hasta 2002, año en que finalizó el proyecto.

- ¿Qué se puede esperar de los retrocruzamientos hacia la especie *E. guineensis*, susceptible a la PC pero con alta productividad de aceite?

R.: En las progenies de este tipo de cruzamientos regresivos se esperan progenies resistentes y una tasa de extracción superior a 20 %, con base en polinización natural gracias a la restauración de la fertilidad (Alvarado et al., 2000; Sharma, 1999).

- ¿El perfil lipídico del aceite se altera a través de diferentes cruzamientos regresivos?

*R.: Sí, el perfil lipídico se altera, específicamente las proporciones entre ácidos grasos insaturados y saturados; cuanto más cercanos están a la especie *E. guineensis*, mayor es la proporción de los saturados.*

- ¿Qué se puede esperar de los retrocruzamientos hacia la especie *E. oleifera*, resistente a la PC pero con baja productividad de aceite?

*R.: Esta pregunta aún no tiene respuesta, puesto que los retrocruzamientos hacia la especie *E. oleifera* fueron pospuestos. En 2018 se produjeron seis retrocruzamientos hacia *E. oleifera*, dentro del proyecto “Selección de progenitores F2 de la palma nolí (*Elaeis oleifera* [Kunth] Cortés) como apoyo a la producción de semilla mejorada de los híbridos O × G F1 y RC1 de segunda generación (AGROSAVIA, 2019), dentro de la Agenda AGROSAVIA 2018-2022.*

Los retrocruzamientos hacia la especie *E. oleifera* fueron aplazados en el supuesto de una reducción drástica de la tasa de extracción de aceite. Como hipótesis, se espera el siguiente patrón en la tasa de extracción de aceite para los materiales genéticos, antes de presentarse el uso de reguladores: *E. guineensis* > híbridos RC2 > híbridos RC1 > híbridos F1 > *E. oleifera*. De forma inversa, el patrón de tolerancia a la enfermedad PC tienen en el extremo de mayor tolerancia a la especie *E. oleifera*, y en el de más susceptibilidad a *E. guineensis*. Son varios los reportes sobre la baja tasa de extracción de aceite en palmas de la especie *E. oleifera* (Corley & Tinker, 2003; Rajanaidu, 2000). El porcentaje de aceite en racimo de las 150 palmas *E. oleifera* seleccionadas en el C. I. El Mira varía entre 6,03 y 11,85 %, y el de *E. oleifera* tipo Cereté en líneas generales oscila entre 5 y 10 % (Vallejo, 1976).

El conocimiento adquirido con los resultados de las PPF2 indica la viabilidad de iniciar un programa de mejoramiento que apunte a producir híbridos mediante cruzamientos regresivos entre las especies *E. oleifera* y *E. guineensis*, asistido por nuevas tecnologías, genómica, cultivo de tejidos, a fin de recuperar la productividad de aceite y mantener un nivel de resistencia a la PC

por debajo del impacto económico. Queda pendiente por averiguar dónde se pierde la resistencia en la generación de RC, y cuando esto ocurra, será necesario hacer una generación de RC hacia la especie resistente *E. oleifera*. Además, con la PPF2 fue posible monitorear el comportamiento de una generación avanzada F2, sin evaluar la generación precedente F1, con un ahorro significativo de tiempo y área de terreno. Esta metodología facilita la ejecución de proyectos de investigación en especies perennes y asegura la producción de cultivares con características previsibles.

Referencias

- Alvarado, A., Bulgarelli, J., & Moya, B. (2000). Germinación del polen en poblaciones derivadas de un híbrido entre *Elaeis guineensis* Jacq. y *E. oleifera* H. B. K., Cortés. *ASD Oil Palm Papers* (20), 35-36.
- Amblard, P., Billotte, N., Cochard, B., Durand, T., Jacquemard, C. J., Louise, C., Novy, B., & Potier, F. (2004). El mejoramiento de la palma de aceite *E. guineensis* y *E. oleifera* por el CIRAD-CP. *Revista Palmas*, 25(2), 307-310.
- Barba, J. O. (2010). Evaluación agronómica de híbridos interespecíficos de palma de aceite O x G (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) provenientes de diversos orígenes americanos y su tolerancia a la pudrición de cogollo. *Palma*, 11-15..
- Bastidas, S. (2013). Híbrido O x G Corpoica Elmira de palma de aceite: avances en el desarrollo de materiales genéticos resistentes a la PC. *Revista Palmas*, 34(2), 138-144. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10857>
- Bastidas, S., Figueredo, P., & Reyes, R. (1993). Obtención de materiales de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) adaptados al trópico Latinoamericano. *Palmas*, 14(especial), 49-56.
- Bastidas, S., Peña, E., & Reyes, R. (2003). Avances sobre el comportamiento de los híbridos de primera generación de retrocruzamiento entre palma americana (*Elaeis oleifera*) y palma de aceite (*Elaeis guineensis*). *Revista Corpoica Novedades Técnicas*, 3(3), 32-36.

- Bastidas, S., Peña, E., & Reyes, R. (2005). Metodología de selección para el mejoramiento genético acelerado de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*): prueba de campo. *Revista Fitotecnia Colombiana*, 5(1), 46-52. https://www.researchgate.net/publication/228730421_METODOLOGIA_DE_SELECCION_PARA_EL_MEJORAMIENTO_GENETICO_ACELERADO_DE_LA_PALMA_DE_ACEITE_Elaeis_guineensis_Jacq_PRUEBA_DE
- Bastidas, S., Peña, E., & Reyes, R. (2013). *Preguntas sobre palma de aceite Elaeis guineensis Jacq., palma noli Elaeis oleifera (Kunth) Cortés y los híbridos interespecíficos noli × palma de aceite (E. oleifera × E. guineensis)*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12614>
- Bastidas, S., Peña, E., Reyes, R., & Casas, H. (2002). *Recomendaciones generales para el manejo de semilla germinada y viveros de palma de aceite (Elaeis guineensis Jacq.)*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1193>
- Bastidas, S., Peña, E., Reyes, R., Medina, C., Villa, A., & Tolosa, W. (2010). Pruebas agronómicas para certificar la tolerancia de los híbridos O × G a pudrición del cogollo: fase I (resumen ejecutivo). En *Ciencia y Tecnología para la Competitividad del Sector Agropecuario 2002-2010: resultados de algunos proyectos cofinanciados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Dirección de Desarrollo Tecnológico y Protección Sanitaria* (pp. 158-159) <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19921>.
- Bastidas, S., Peña, E., Reyes, R., Pérez, J., & Tolosa, W. (2007). Comportamiento agronómico del cultivar híbrido RC1 de palma de aceite (*Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*) × *Elaeis guineensis*. *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 8(1), 5-11. https://doi.org/10.21930/rcta.vol8_num1_art:77
- Breure, C. J. (1987a). *Factors associated with the allocation of carbohydrates to bunch dry matter production in oil palm (Elaeis guineensis Jacq.)*. Harrisons Fleming Advisory Services Ltda.; Landbouwniversiteit Wageningen.
- Breure, C. J. (1987b). Selección de progenitores de la palma de aceite con base en el índice de racimos y la productividad en Nueva Bretaña Occidental. *Revista Palmas*, 8(2), 39-46.
- Chinchilla, C., Alvarado, A., Albertazzi, H., & Torres, R. (2007). Tolerancia y resistencia a las pudriciones de cogollo en fuentes de diferente origen de *Elaeis guinnensis*. *Revista Palmas*, 28(número especial), 273-284. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1264>

- Choo, Y. M., Ma, A. N., & Yap, S. C. (1998). Carotenos, vitamina E y esteroides en aceites de *Elaeis guineensis*, *Elaeis oleifera* y sus híbridos. *Revista Palmas*, 19(2), 79-85. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/627>
- Corley, R. H. V. (1973). Effects of plant density on growth and yield of oil palm. *Experimental Agriculture*, 9(2), 169-180. <https://doi.org/10.1017/S0014479700005639>
- Corley, R. H. V., & Breure, C. J. (1981). *Measurements in oil palm experiments: Internal report*. Unilever Plantation Group.
- Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2003). *The oil palm*. Oxford Blackwell Science Ltda.; Blackwell Publishing Company. <https://doi.org/10.1002/9780470750971>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. (2019). *Proyecto de investigación de la agenda 2018-2022 "Selección de progenitores F2 de la palma noli (Elaeis oleifera [Kunth] Cortés) como apoyo a la producción de semilla mejorada de los híbridos Corpoica F1 y RC1 de segunda generación"*.
- Da Rocha, C. R. N., Rodrigues, L. M. R., Teixeira, P. C., Lopes, R., Da Cunha, V. R. N., De Macedo, V. J. L., De Moraes, R. R., & De Lima, A. W. A. (2010). Manejo sustentável para a cultura da palma de óleo: cobertura do solo e cultivos intercalares. Em *Zoneamento agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia* (pp. 127-135). Embrapa Solos.
- Escobar, R., & Alvarado, A. (2004). Estrategias para la producción comercial de semillas y clones de palmas de aceite compactas. *ASD Oil Palm Papers*, 27, 13-26.
- Falconer, D. S. (1984). *Introducción a la genética cuantitativa* [F. Márquez Sánchez, Trad.]. (14.ª Ed.). Compañía Editorial Continental S. A.
- Forster, B. P., Sitepu, B., Setiawati, U., Kelanaputra, E. S., Nur, F., Rusfiandi, H., Rahmah, S., Ciomas, J., Anwar, Y., Bahri, S., & Caligari, P. D. (2017). Oil palm (*Elaeis guineensis*). In *Genetic improvement of tropical crops* (pp. 241-290). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59819-2_8
- Franqueville, H. (2001). *La pudrición del cogollo de la palma aceitera en América Latina: revisión preliminar de hechos y logros alcanzados*. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD). <http://www.buecke.com.br/public/upload/arquivo/buecke/La%20pudricion%20del%20cogollo%20de%20la%20palma%20aceitera%20en%20America%20Latina-02c2d.pdf>

- Hardon, J. J. (1983). Oil palm breeding-introduction. In R. H. V. Corley, J. J. Hardon & B. J. Wood (eds.), *Developments in crop science (I), oil palm research* (pp. 89-108). Elsevier Scientific Publishing Company.
- Hardon, J. J., & Tan, G. Y. (1969). Interspecific hybrids in the genus *Elaeis*. I. crossability, cytogenetics and fertility of F1 hybrids of *Elaeis guineensis* × *Elaeis oleifera*. *Euphytica*, 18, 372-379. <https://doi.org/10.1007/BF00397784>
- Hartley, C. (1988). *The oil palm (Elaeis guineensis Jacq.)* (3.rd Ed.). Editorial Longman.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2011). Resolución 001446. "Registro de cultivar comercial para producción y comercialización de semillas en Colombia. Híbrido O × G Corpoica Elmira".
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2014a). Resolución 000977. "Registro de cultivar comercial para producción y comercialización de semillas en Colombia. Híbrido Pacífico RCT".
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2014b). Resolución 000978. "Registro de cultivar comercial para producción y comercialización de semillas en Colombia. Híbrido Tumaco RCT".
- Kushairi, A., Rajanaidu, N., Sukaimi, B., Mohd Rafii, Y., & Mohd Din, A. (2000). Materiales de siembra de palma de aceite del PORIM. *Revista Palmas*, 21(3), 51-63. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/744>
- Le Guen, V., Amblard, P., Omore, A., Koutou, A., & Meunier, J. (1991). Le programme hybride interspécifique *Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis* de L'IRHO. *Oléagineux*, 46(12), 479-487.
- Le Guen, V., Amblard, P., Omore, A., Koutou, A., & Meunier, J. (1993). Programa del IRHO con híbridos interespecíficos *Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*. *Revista Palmas*, 14(4), 63-70. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/393>
- Little, T. M., & Hills, F. J. (1976). *Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura*. Editorial Trillas.
- Márquez, F. (1985). *Genotecnia vegetal: métodos, teoría, resultados* (Tomo I). AGT Editor S. A.
- Meerow, A. W., Krueger, R. R., Singh, R., Low, E. T. L., Ithnin, M., & Ooi, L. C. L. (2012). Coconut, date, and oil palm genomics. In R. Schnell & P. Priyadarshan (eds.), *Genomics of tree crops* (pp. 299-351). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0920-5_10

- Méndez, T. (1974). *Report on plant breeding aspects of the oil palm programe of the Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)*.
- Meunier, J. (1991). Una posible solución genética para el control de la pudrición de cogollo en la palma aceitera: híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*. *Revista Palmas*, 12(2), 39-42. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/284>
- Meunier, J., & Boutin, D. (1975). L' *Elaeis melanococca* et l' hybrid *Elaeis melanococca* × *Elaeis guineensis*: premieres donnés. *Oléagineux*, 30(1), 5-8.
- Meunier, J., Vallejo, G., & Boutin, D. (1976). *E. melanococca* × *E. guineensis* hybrid and its improvement. *Oléagineux*, 31(2), 519-528.
- Molina, G. J. D. (1992). *Introducción a la genética de poblaciones y cuantitativa (algunas implicaciones en genotecnia)* (1.ª Ed.). AGT Editor S. A.
- Rajanaidu, N. (2000). Materiales futuros de siembra para la industria de la palma de aceite. *Revista Palmas*, 21(número especial, tomo II), 291-299.
- Ramírez, O. (2004). Híbrido de la palma: una alternativa a la soya. *Revista Palmas*, 25(número especial, tomo I), 295-300.
- Rojas, E. (1972). *Investigaciones sobre la enfermedad pudrición del cogollo de la palma africana en la plantación La Arenosa de Coldsas, S. A., Turbo, departamento de Antioquia*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
- Rojas, L. A. (1981). La palma africana de aceite. VI. Labores de establecimiento y mantenimiento del cultivo. *Temas de orientación agropecuaria*, (149), 82-92.
- Sambanthamurthi, R., Singh, R., Kadir, A. P. G., Abdullah, M. O., & Kushairi, A. (2009). Opportunities for the oil palm via breeding and biotechnology. In S. M. Jain, P. M. Priyadarshan, *Breeding plantation tree crops: Tropical species* (pp. 377-421). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-71201-7_11
- Sánchez Chia, G. (2012). *Caracterização morfofisiológica e anatômica de folhas de dendezeiro (Elaeis guineensis Jacq.), de caiaué (E. oleifera [Kunth] Cortés) e híbrido interespecífico (E. guineensis × E. oleifera) nas condições da Amazônia Central* [Tese doutorado, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil]. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/191501/1/Tese-Gilson-Sanchez-Chia.pdf>

- Sharma, M. (1999). Utilization of Nigerian PS1 y PS2 selection in oil palm breeding programmes at UP Bhd. In *Proceedings of the seminar on PS1 and PS2 oil palm planting materials* (pp. 18-29). Palm Oil Research Institute of Malaysia (PORIM).
- Sparnaaij, L. D., & Van der Vossen, H. A. M. (1980). Developments in oil palm breeding: A reappraisal of present and future breeding procedures in the light of results from the Nigerian Institute for Oil Palm Research breeding programme. *Oil Palm News* (24), 4-11.
- Steel, R. G., & Torrie, J. H. (1985). *Bioestadística: principios y procedimientos*. McGraw-Hill.
- Tan, G. Y. (1978). Genetic studies of some morpho-physiological characters associated with yield in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Tropical Agriculture*, 53, 9-16.
- Torres, M., Rey, L., Gelves, F., & Santacruz, L. (2004). Evaluación del comportamiento de los híbridos interespecíficos *E. oleifera* × *E. guineensis*, en la plantación Guaicaramo S. A. *Revista Palmas*, 25(número especial), 350-357. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1099>
- Turner, P. D. (1981). *Oil palm diseases and disorders*. Oxford University Press.
- Vallejo, G. (1976). *Estudio de poblaciones espontáneas de nolí (Elaeis oleifera H. B. K. Cortés) en Colombia* [Tesis Magister Scientiae]. Universidad Nacional de Colombia (UN); Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Vallejo, G., & Cassalet, D. C. (1975). Perspectivas del cultivo de los híbridos interespecíficos de nolí (*Elaeis oleifera*) × palma africana de aceite (*Elaeis guineensis*) en Colombia. *Revista ICA*, 10(1), 19-35.
- Vallejo, C. F. A., Espitia, C. M., Checa, C. O., Lagos, B. T. C., Salazar, V. F., & Restrepo, S. E. (2005). *Análisis estadístico para los diseños genéticos en fitomejoramiento*. Universidad Nacional de Colombia; Feriva S. A.
- Zambrano, J. E. (2004). Los híbridos interespecíficos *Elaeis oleifera* H. B. K. × *Elaeis guineensis* Jacq.: una alternativa de renovación para la zona oriental de Colombia. *Revista Palmas*, 25(número especial, tomo II), 339-349. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1098>