Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria (2007) 8(1), 5-11

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Comportamiento agronómico del cultivar híbrido RC1 de Palma de aceite (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) x *Elaeis guineensis*

Silvio Bastidas[1], Eduardo Peña[2], Rafael Reyes[3], José Pérez[4] y William Tolosa[5]

ABSTRACT

Agronomic behavior of the BC1 hybrid cultivar of oil palm (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) x *Elaeis guineensis*

A transfer of genes from the species Nolí (*Elaeis oleifera*) to the oil palm species (*Elaeis guineensis*) was made using backcrosses, with the objective of obtaining a cultivar with high fruit and oil production per unit of area, slow rate of growth, disease tolerance, and oil with high content of unsaturated fatty acids and carotenes. The first backcross generation, BC1, was obtained using controlled pollination between palms of the interspecific F1 hybrid (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) used as the female parent with palms of the species *Elaeis guineensis* as the male progenitor. In 1995 the progeny of five BC1s were established in the field, proposing the segregation hypothesis that 50% of the progeny would correspond to the genotype of oil palm and the remaining 50% to the genotype of the BC1 hybrid with a load of African genes (75% *E. guineensis* and 25% *E. oleifera*). The field data were analyzed based on a completely random design with hierarchical array and uneven number of repetitions per treatment; Chi^2 was used to test the hypothesis. In the fourth year of production the promising BC1s reached 35 t·ha^{-1} of fruit, with 19.6% of oil and an estimated oil production of 6.3 t·ha^{-1} per year. These hybrids grew an average of 25.8 cm per year, a characteristic that increases the useful life expectancy of a plantation to more than 40 years. To date, these hybrids show tolerance to four deadly diseases that affect the oil palm in Colombia, since no symptoms have been observed during the eight years of evaluation. The oil from these hybrids contains greater concentrations of unsaturated fatty acids than that of oil palm.

Key words: Oil palm, interspecific hybrid, backcrossing, Nolí palm, first backcross generation.

Recibido: febrero 23 de 2007
Aceptado: junio 2 de 2007

1. Investigador master principal, Fitomejoramiento y Genética Vegetal, E.E. El Mira, Tumaco (Nariño). e-mail: sebastidas@corpoica.org.co
2. Investigador Master tprincipal, Protección de Cultivos, E.E. El Mira, Tumaco (Nariño).
3. Investigador master principal, Fisiología Vegetal, E.E. El Mira, Tumaco (Nariño).
4. Investigador profesional asociado, Producción de Semillas, E.E. El Mira, Tumaco (Nariño).
5. Investigador profesional asistente, Manejo Agronómico, E.E. El Mira, Tumaco (Nariño).

RESUMEN

Se realizó transferencia de genes desde la especie Nolí (*Elaeis oleifera*) a la especie Palma de aceite (*Elaeis guineensis*) mediante retrocruzamientos con el propósito de obtener un cultivar que tuviera alta producción de frutos y aceite por unidad de área, baja tasa de crecimiento, tolerancia a enfermedades, y aceite con alto contenido de ácidos grasos insaturados y carotenos. La primera generación de retrocruzamiento RC1 se obtuvo mediante polinización controlada entre palmas del híbrido interespecífico F1 (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) usadas como progenitor femenino, con palmas de la especie *Elaeis guineensis* como progenitor masculino. En 1995 se establecieron en campo las descendencias de cinco cruces RC1, planteando como hipótesis de segregación que el 50% de los descendientes corresponderían al genotipo de palma de aceite y el 50% restante al genotipo del híbrido RC1 con carga genética africana (75% *E. guineensis* y 25% *E. oleifera*). Los datos de campo se analizaron con base en un diseño completamente al azar con arreglo jerárquico y desigual número de repeticiones por tratamiento; para probar la hipótesis se aplicó la prueba de Chi-cuadrado (χ^2). En el cuarto año de producción los híbridos RC1 promisorios alcanzaron 35,0 t·ha^{-1} de fruto, con 19,6% de aceite y una producción anual estimada de aceite de 6,3 t·ha^{-1}. Estos híbridos crecieron en promedio 25,8 cm por año, característica que aumenta a más de 40 años la expectativa de vida útil de la plantación. Hasta la fecha presentan tolerancia a cuatro enfermedades de carácter letal que afectan la Palma de aceite en Colombia, puesto que durante siete años de evaluación no se han presentado síntomas. El aceite de estos híbridos contiene mayor concentración de ácidos grasos insaturados y carotenos que el de la Palma de aceite.

Palabras clave: Palma de aceite, híbrido interespecífico, retrocruzamiento, palma Nolí, primera generación de retrocruza.

INTRODUCCIÓN

La palmicultura moderna basa su competitividad en la siembra de materiales mejorados de alta producción. Más del 90% del área palmera en Colombia corresponde al híbrido intraespecífico Ténera de la especie *Elaeis guineensis*, caracterizado por su elevada producción de racimos y tasa de extracción de aceite.

En la actualidad, cuatro enfermedades afectan la productividad de las plantaciones colombianas, sin importar el origen genético de los materiales ni su procedencia: la Mancha anular (agente etiológico desconocido, posible virus); la Pudrición del cogollo (agente causal desconocido, posible complejo de hongos); la Marchitez sorpresiva (agente etiológico el protozoario flagelado *Phytomonas staheli*) y el Anillo rojo (agente causal el nematodo *Bursaphelenchus cocophilus*). Hasta la fecha no existen métodos de control suficientemente efectivos para reducir su expansión y virulencia; bajo estas circunstancias se espera que el impacto económico de estas enfermedades sea cada vez más significativo, por lo cual es necesario ofrecer alternativas a partir del mejoramiento.

Con el propósito de producir un nuevo cultivar que exhibiera como características deseables una alta producción de fruto y aceite por ha, baja tasa de crecimiento, tolerancia a enfermedades, aceite con alto contenido de ácidos grasos insaturados y carotenos, se aplicó una metodología para el mejoramiento acelerado de la palma de aceite que permite obtener hasta tres generaciones en 10 años —tiempo que tarda un ciclo genético tradicional en palma de aceite—, la cual fue desarrollada por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria –Corpoica- en la Estación Experimental El Mira, Tumaco (Nariño) (Bastidas, Peña y Reyes, 2005). En efecto, mediante retrocruzamientos se está realizando la transferencia de genes desde la especie Nolí (*Elaeis oleifera*) hacia la especie africana (*Elaeis guineensis*), obteniendo híbridos interespecíficos de primera y segunda generación de retrocru-

© 2007 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

zamiento (RC1 y RC2, respectivamente). Índices de calidad del aceite tomados de Choo (1997) y Sharma (1999) indican que las expectativas en cuanto al mejoramiento genético por calidad son promisorias (Tabla 1).

En este trabajo se presentan los resultados de campo de los híbridos interespecíficos RC1, con base en siete años de observación y cuatro de registros de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se está realizando desde 1993 en la Estación Experimental El Mira de Corpoica en Tumaco (departamento de Nariño). Las plántulas RC1 se obtuvieron a través de la siguiente cronología:

Entre 1973 y 1976, en cumplimiento de un convenio cooperativo entre el IRHO[6] y el ICA, se realizó un programa de hibridación interespecífica utilizando ejemplares Nolí (*E. oleifera*) como madres, con polen de palma de aceite (*E. guineensis*) como progenitores masculinos. Las palmas Nolí fueron seleccionadas en el valle del río Sinú en Colombia, mientras que el polen correspondió a palmas Pisífera de la serie La Mè de Costa de Marfil (IRHO, 1973).

En 1977 un duplicado completo de las hibridaciones Nolí x Palma se estableció en la Estación Experimental El Mira. Después de su evaluación resultaron seleccionadas 14 palmas F1 dentro de las ocho mejores hibridaciones.

En 1993, aplicando la metodología para el mejoramiento acelerado (Bastidas, Peña y Reyes, 2005), se realizaron cruzamientos para formar la primera generación de retrocruzamiento RC1 mediante polinizaciones controladas entre palmas del híbrido interespecífico F1 (*E. oleifera* x *E. guineensis*) usadas como madres, con polen de palma de aceite (*E. guineensis*) en calidad de padres[7]. En la Figura 1 se presenta la secuencia gráfica del proceso descrito.

6. IRHO – Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux de Francia (actualmente CIRAD).
7. Dentro del proyecto mejoramiento genético de la palma de aceite en Colombia se utiliza a la especie Nolí (*E. oleifera*) como donadora de genes y a la especie africana (*E. guineensis*) como recurrente.

Tabla 1. Índices de calidad del aceite de palma según diferentes autores.

Tipo de palma	Carotenos totales (mg•kg^{-1})	Vitamina E total (ppm)	Índice de yodo	Ácidos grasos insaturados, mono y di-insaturados (%)
Ténera Corpoica El Mira	1.355,7	1.551,7	53,3	51,6
Palma Oleifera	4.300 – 4.600 [2]	700 – 1.000 [2]	92,6 [1]	78,8 [2]
Híbrido F1 (OxG)	1.200 – 2.400 [2]	800 – 1.000 [2]	70,0 [1]	58,9 [2]
Híbrido 'RC1' (OxG) xG	ND	ND	63,7 [1]	Intermedio entre (OxG) y G[2]

[1] Valores reportados por Sharma (1999) en Malasia para palmas Nolí de origen colombiano, para F1's Nolí Colombia x Palma Nigeria y para RC1's (Nolí Colombia x Palma Costa de Marfil) x Palma Nigeria.
[2] Valores reportados por Choo *et al.* (1997) para carotenos, vitamina E y esteroles en aceites de *E. guineensis*, *E. oleifera* y sus híbridos.

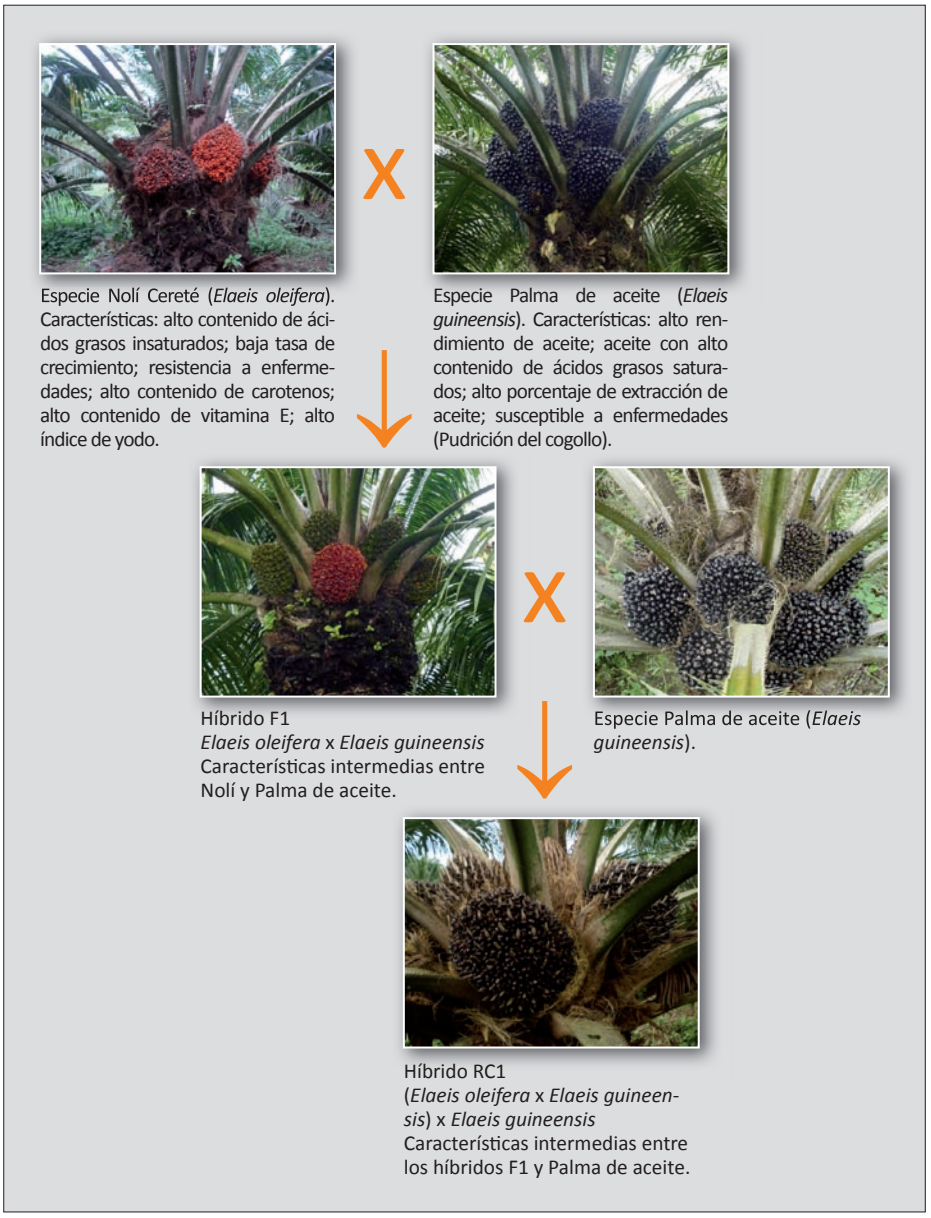

Figura 1. Secuencia del proceso de obtención de los híbridos interespecíficos RC1 (*E. oleifera* x *E. guineensis*) x *E. guineensis*.

En febrero de 1995 fueron sembradas en campo, a una densidad de 143 palmas por hectárea, las descendencias de cinco RC1 bajo el esquema de la Tabla 2. En la población de segregación RC1 se planteó como hipótesis que el 50% de los descendientes corresponderían al genotipo de palma de aceite (Dura en los tratamientos 1 a 4 y Pisífera en el tratamiento 5) y el otro 50% al genotipo del híbrido F1 con carga genética de africana (75% *E. guineensis* y 25% *E. oleifera*). La identificación

Tabla 2. Número de individuos RC1 (*E. oleifera* x *E. guineensis*) x *E. guineensis* sembrados para evaluación. (E.E. El Mira, Tumaco, Nariño).

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

H : híbrido oleifera x guineensis; D : Dura; P : Pisífera; EM : El Mira (Colombia); LB : Lobé (Camerún).

de palmas segregantes en esta población se basó en su fenotipo de acuerdo con características distintivas de los híbridos: disposición de foliolos en el raquis, largo y ancho de foliolos, vigor de los tallos, largo de hojas, largo de pecíolos, largo del raquis, vigor de las inflorescencias, forma y color de los frutos.

Para probar esta hipótesis se utilizó la prueba de Chi-cuadrado (χ^2). Los datos de campo se analizaron con base en un diseño completamente al azar con número desigual de repeticiones por tratamiento en arreglo jerárquico y una prueba de Duncan para identificar el mejor retrocruzamiento. Los valores referentes a peso y conteos se normalizaron usando transformación logarítmica y los porcentajes o proporciones con arco seno $\sqrt{x}$. Las variables respuesta fueron las siguientes:

Medidas vegetativas y parámetros de crecimiento: Tasa de crecimiento, diámetro del tallo, largo de la hoja (pecíolo y raquis), área foliar, emisión foliar, índice de área foliar y relación de área foliar, según metodología desarrollada por Corley y Breure (1981) y Breure y Verdooren (1995), con la aclaración que la metodología y los coeficientes para el cálculo de biomasa se generaron para la especie *E. guineensis* y no para los híbridos F1 y RC1.

Registros de producción: Número de racimos, peso promedio por racimo, producción anual por palma, producción por hectárea e índice de racimos (Breure y Verdooren, 1995).

Análisis de frutos y racimos: Relación fruto a racimo, porcentaje de pulpa en fruto, porcentaje de cuesco en fruto, porcentaje de almendra en fruto, porcentaje de aceite en racimo y producción anual estimada de aceite por hectárea.

Presencia de enfermedades: Registro de palmas enfermas por Mancha anular, Pudrición de cogollo y Marchitez sorpresiva (estadísticas descriptivas).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tipos de segregación

Considerando toda la población se encontró que el 62,7% de los segregantes eran híbridos y 37,3% del genotipo *E. guineensis*; la prueba de Chi-cuadrado (χ^2) para toda la población indicó que estos valores no se ajustan a la hipótesis planteada, puesto que el porcentaje de palmas híbridas fue superior al esperado, lejos de la proporción 1 a 1. Cuando la prueba se aplicó a cada uno de los retrocruzamientos se encontró que únicamente la hibridación EM-1107H x EM-1469D se aproxima a la hipótesis planteada, con una proporción 52% a 48%; en contraste, el híbrido EM-0071H x EM-0048D es el que más se aleja, al presentar una proporción de 91% a 9% (Tabla 3). La variación observada se podría explicar por el número de gametos diferentes que produce el parental híbrido (Nolí x Pisífera).

En el retrocruzamiento EM-0617H x EM-3713P, contrario a lo que se esperaba, se presentaron tres tipos de palmas segregantes: Palma de aceite, híbrido tipo Pisífera y un nuevo híbrido de tipo semejante al Ténera, resultado del apareamiento de gametos del híbrido con genes para cuesco grueso con gametos de palma Pisífera con genes para ausencia de cuesco; sin embargo, fue reducido el número de palmas con racimos de frutos fértiles en este tipo de segregante. Al respecto, Escobar y Alvarado (2004) explican que los retrocruzamientos en palma de aceite dan lugar a la segregación de una serie de fenotipos diferentes, los cuales muestran características extremas e intermedias.

Entre las causas que pueden explicar la desviación de la proporción 1:1 se proponen las siguientes: a) por su buen desarrollo y vigor fueron seleccionados más híbridos que palmas de aceite durante la selección de plantas en vivero para siembra; b) se usó un número insuficiente de plantas experimentales; c) por tratarse de un retrocruzamiento entre un híbrido interespecífico y una especie, la proporción segregante no es la planteada. Estos resultados exigen que en lo que sigue del trabajo se deba realizar selección asistida por marcadores moleculares, área en la cual el C.I. Tibaitatá (Corpoica) viene trabajando desde el año 2002 (Mantilla, 2002); en este sentido, Escobar y Alvarado (2004) concluyen que las técnicas modernas de biotecnología pueden disminuir el enorme esfuerzo y años de investigación requeridos por el mejoramiento genético clásico y recomiendan practicar el mejoramiento genético asistido por marcadores moleculares para una selección más precisa de progenitores, ortets y para la reducción de costos de investigación.

Tabla 3. Prueba de Chi-cuadrado (X^2) para los tipos de segregantes observados en los descendientes de cinco retrocruzamientos. (E.E. El Mira, Tumaco, Nariño).

Retrocruzamientos	Segregante				Prueba X^2	
	Híbridos RC1		Palma de aceite			
	Esperado	Observado	Esperado	Observado	Observado	Probabilidad
EM-0383H x EM-0048D	22,5	31,0	22,5	14,0	6,4222	0,0112 ns
EM-1107H x EM-1469D	12,5	13,0	12,5	12,0	0,0400	0,8414*
EM-0617H x LB-0256D	8,5	14,0	8,5	3,0	7,1176	0,0076ns
EM-0071H x EM-0048D	11,0	20,0	11,0	2,0	14,7273	0,0001 ns
EM-0617H x EM-3713P	24,5	41,0	24,5	8,0	22,2245	<0,0001ns
Población total	79,0	119,0	79,0	39,0	40,5063	<0,0001ns

*: La probabilidad de obtener una desviación al menos tan grande como la observada por casualidad es de 84% (la desviación puede ser casualidad).
ns: La probabilidad de obtener una desviación al menos tan grande como la observada por casualidad es menor del 1%. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis (la desviación observada no se debe al azar).

Características vegetativas y parámetros de crecimiento

Los resultados indican que los híbridos RC1 tienen una menor tasa de crecimiento (24,6 cm/año) que el material comercial Ténera Corpoica El Mira (46,4 cm/año), lo cual es un indicativo claro que los híbridos RC1 aún conservan el aporte genético de la palma Nolí. Esta característica tiene impacto económico, ya que la vida útil de un híbrido RC1 con un crecimiento de 25 cm por año sería superior a 40 años, duplicando la vida útil promedio de la palma de aceite Ténera (Tabla 4); estos resultados son consecuentes con las observaciones de Escobar y Alvarado (2004).

Otra característica favorable del vigor híbrido de los RC1 es el área de sus hojas (8,8 m^2 cada una) presentando mayor área para la fotosíntesis que su progenitor recurrente, la palma de aceite (6,5 m^2).

Las palmas preseleccionadas heredaron otras características del híbrido F1: diámetro del tallo (81 cm), largo del pecíolo (137 cm), largo del raquis (621 cm) y largo de las hojas (7,6 m); de hecho, los individuos RC1 superaron estas características morfológicas, así: diámetro del tallo (83,5 cm), largo del pecíolo (138 cm), largo del raquis (635 cm) y largo de las hojas (7,7 m). Este hecho limita la densidad de siembra a un menor número de palmas por hectárea, por ejemplo a 115, puesto que deben sembrarse a 10 metros entre palma y palma, equivalente a una reducción del 19,5% de palmas por hectárea. Sin embargo, varios investigadores entre ellos Breure (1987a) y Hartley (1988) han encontrado correlaciones directas entre el vigor, principalmente el diámetro del tallo y la altura, con la producción de racimos.

Según Corley y Breure (1981), el 'índice de área foliar'[8] es la relación que existe entre el área foliar de las plantas de una hectárea con respecto a una hectárea de terreno; además constituye un parámetro determinante del nivel de competencia entre plantas. Corley (1973) demostró que la máxima producción de racimos por hectárea se alcanza con índices de área foliar entre 6 y 7. Según estos conceptos, únicamente los RC1 se acercan al índice óptimo, puesto que los valores obtenidos variaron entre 4,7 y 5,1.

Se espera que al alcanzar la edad adulta (entre el 8º y el 9º año), que es cuando se estabiliza la producción, el índice de área foliar sea superior a 6. De todas formas, el promedio general (4,9) fue mayor al promedio del testigo comercial Ténera Corpoica El Mira. El índice de área foliar para los RC1 preseleccionados (5,3) es consecuente con su mayor producción.

El parámetro relación de área foliar indica la relación que existe entre el área de las hojas emitidas durante un determinado período de tiempo con respecto a la cantidad de materia seca empleada en crecimiento vegetativo (Corley y Breure, 1981). Este parámetro se usa para seleccionar palmas que produzcan mayor superficie fotosintética con mínima inversión de materia seca usada en crecimiento vegetativo; por ejemplo, reduciendo el diámetro y largo de los pecíolos y aumentando el largo y ancho de los foliolos. Tan (1978) encontró que la relación de área foliar es de alta heredabilidad. Con respecto a este parámetro se observó que los híbridos RC1 producen menor superficie foliar (entre 1,7 y 2,4 m^2) por cada kilo de materia seca usada en crecimiento vegetativo que el testigo palma de aceite, que produce 2,9 $m^2 \cdot kg^{-1}$. Estos valores demuestran que en los híbridos de palma aceitera gran parte de los asimilados en la fotosíntesis son desviados hacia la producción de biomasa.

El análisis de varianza aplicado a cada una de las características vegetativas (Tabla 5) indicó que únicamente dos de ellas, largo de los pecíolos y área de la hoja 25, causaron diferencias entre retrocruzamientos y que en las restantes tuvieron un comportamiento estadísticamente similar; ello indica que entre RC1 no existe mucha variabilidad. Dentro de cada retrocruzamiento todas las variables, excepto 'tasa de crecimiento' y 'relación de área foliar', causaron diferencias estadísticas entre los tipos de palma segregante; en este caso el ANOVA indica que existe alta variación interna en cada cruzamiento. La prueba de Duncan (P>0,05) indicó que EM-1107H x EM-1469D produce descendencias con mayor vigor en cuanto a crecimiento del tallo, mientras que EM-

8. Este índice es propio para la especie *Guineensis*, y no para los híbridos F1 y RC1. Para estos nuevos cultivares se deben generar índices particulares. Igual comentario se aplica para la 'relación de área foliar'.

Tabla 4. Comportamiento en campo de los híbridos interespecíficos de primera generación de retrocruzamiento (RC1) entre las especies *E. guineensis* y *E. oleifera* con respecto a características vegetativas y de producción (Estación Experimental El Mira, Tumaco, Nariño).

Descriptor	0383H x 0048D	1107H x 1469D	0617H x 0256H	0071 x 0048D	0617D x 3713P	Promedio general RC1	Promedio preselección 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 No 25 (cm)	135,0	131,0	143,0	138,0	140,0	137,0	138,0	119,0
Largo del raquis de la hoja No 25 (cm)	617,0	607,0	629,0	638,0	615,0	621,0	635,0	566,0
Área de la hoja No. 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 ($m^2 \cdot kg^{-1}$)	2,4	2,1	1,9	1,7	2,2	2,0	1,9	2,9
Numero de racimos por palma (Unidad)	10,0	12,0	10,0	11,0	13,0	11,0	16,0	17,0
Peso promedio por racimo (kg)	18,4	15,5	15,8	13,4	12,5	15,1	15,9	12,4
Producción por palma por año (kg)	177,5	177,7	166,2	134,1	158,9	162,9	245,1	212,4
Producción por hectárea por 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 ($t \cdot ha^{-1}$/año)	4,6	2,9	5,1	3,4	3,2	3,9	6,3	8,5

0617H x LB-0256D produce los tallos más robustos y mayor área foliar (Tabla 6).

Características de producción

Los RC1 presentaron buenas características de floración. Contrario a los híbridos F1 que son altamente estériles, en los RC1 se notó restauración de la fertilidad, fenómeno que había sido reportado por Alvarado, Bulgarelli y Moya, (1998), Sharma (1999) y Bastidas, Peña y Reyes (2003). Se concluye que la viabilidad del polen no es un obstáculo para explotar comercialmente los híbridos *E. oleifera* x *E. guineensis* retrocruzados hacia *E. guineensis.*

Hasta la fecha no se registran palmas con racimos malogrados o con inflorescencias estériles en los descendientes RC1 tipo Dura, mientras que esta anormalidad es frecuente en los híbridos RC1 tipo Pisífera, segregantes del retrocruzamiento EM-0617H x EM-3713P, los cuales presentan características semejantes a la palma de aceite Pisífera, es decir que producen alto número de inflorescencias femeninas estériles y, en ocasiones, racimos con pocos frutos en su mayoría partenocárpicos. Este es un indicio de que las palmas Pisífera usadas como padres pueden estar contribuyendo a la esterilidad de los híbridos F1, aparte de la esterilidad natural de los cruzamientos interespecíficos.

Se encontró que los ciclos de floración en los RC1 cambian en menos de seis meses, cualidad que garantiza disponibilidad permanente de polen, mejor relación fruto a racimo y evita las polinizaciones asistidas, como se hace en los híbridos F1 y en algunas regiones en las plantaciones comerciales de palma de aceite. Los cambios de ciclo de floración menores de seis meses también fueron observados en el material Ténera Corpoica El Mira (Bastidas, Reyes y Peña, 2004). En general, el 22,1% de los híbridos RC1 permanecen en ciclo femenino y el 14,8% en ciclo masculino; mientras que la mayoría (63,1%) tenían inflorescencias masculinas y femeninas al mismo tiempo, es decir son palmas monoicas (Figura 2). Estos valores arrojan una proporción de sexos equivalente a 0,85, es decir, de cada 100 palmas 85 están produciendo racimos cada año.

Figura 2. Palma monoica del híbrido RC1 en la que se observa la superposición de los ciclos de floración (masculino – femenino – masculino).

Tabla 5. Cuadrados medios y coeficiente de variación para características vegetativas y de producción en cinco retrocruzamientos de primera generación. Estación Experimental El Mira, Corpoica - Tumaco

Descriptores	Fuente de variacion			
	RC	RC (Seg)	Error	CV (%)
1. Características vegetativas				
Tasa de crecimiento (cm/año)	0,127ns	0,133ns	0,076	8,663
Diámetro del tallo (cm)	0,031ns	0,157**	0,017	3,073
Largo del pecíolo (cm)	0,041**	0,053**	0,011	2,216
Largo del raquis (cm)	0,011ns	0,027*	0,011	1,710
Área de la hoja No. 25 (m^2)	0,174**	0,621*	0,047	10,034
Índice de área foliar (unidad)	0,042ns	0,562**	0,064	15,306
Relación de área foliar ($m^2 \cdot kg^{-1}$)	0,118ns	0,068ns	0,053	21,174
2. Características de producción				
Número racimos palma año (unidad)	0,0822*	1,190**	0,275	22,212
Peso promedio por racimo (kg)	0,508**	1,106**	0,065	9,444
Producción anual ($t \cdot ha^{-1}$)	1,098*	1,628**	0,339	19,389
Índice de racimos (unidad)	0,845**	0,149ns	0,225	10,149
Porcentaje de frutos en racimo	152,101ns	264,412**	69,510	15,265
Porcentaje de aceite en racimo	45,102*	70,626**	17,817	18,111
Producción de aceite ($t \cdot ha^{-1}$/año)	0,119ns	0,388*	0,126	22,992

*: Significancia estadística al 5%; **: Significancia estadística al 1%; ns: no significativo; RC: retrocruzamiento; RC(Seg): tipo de segregante anidado en retrocruzamiento.

Tabla 6. Prueba de rango múltiple de Duncan para características vegetativas y de producción en cinco retrocruzamientos de primera generación (Estación Experimental El Mira, Tumaco, Nariño).

Fuente de variación	Largo del pecíolo de la hoja 25 (cm)	Área de la hoja 25 (m^2)	Número de racimos palma/ año (unidad)	Peso promedio por racimo (kg)	Producción anual de racimos ($t \cdot ha^{-1}$)	Índice de racimos (unidad)	Contenido de aceite en racimo (%)
1. Entre retrocruzamientos							
EM-0383H x EM-0048D	132,96 ab	7,77 bc	10,20 ab	17,20 a	24,13 a	0,70 a	17,22 ab
EM-1107H x EM-1469D	125,76 b	7,16 c	10,45 ab	15,50 a	22,74 a	0,69 a	13,60 b
EM-0617H x LB-0256D	140,53 a	9,14 a	11,05 ab	15,32 ab	24,53 a	0,64 ab	13,92 b
EM-0071H x EM-0048D	133,96 ab	8,65 ab	9,45 b	13,06 bc	16,97 b	0,59 b	15,65 ab
EM-0617D x EM-3713P	138,41 a	7,88 bc	13,01 a	12,69 c	23,18 a	0,68 a	18,45 a
2. Entre tipos de palma segregante							
Segregantes palma de aceite	124,44 b	5,97 b	10,10 a	14,38 a	23,23 a	0,69 a	18,76 a
Segregrantes híbridos RC1	137,74 a	8,66 a	11,38 a	14,93 a	20,74 a	0,66 a	14,31 b

Para cada característica, medias con diferente letra son estadísticamente diferentes (P>0,05).

Aunque el propósito de esta primera parte de la investigación fue transferir genes que codificaran para 'baja tasa de crecimiento' y 'resistencia a enfermedades' desde la palma Nolí hasta la Palma de aceite, lo cual se cumplió, también se estudiaron algunos indicadores de la producción con el fin de preseleccionar palmas RC1 para producir una nueva generación segregante (RC2) en la cual se pueda realizar la selección definitiva de híbridos de alta producción y rendimiento.

Durante el cuarto año de cosecha (séptimo de vida del cultivo) los RC1 presentaron el siguiente comportamiento: en promedio cada palma del híbrido produjo 11 racimos por año, cada uno de los cuales pesó 15,1 kg, que equivalen a 23,3 t·ha^{-1} (Tabla 4). Esta producción es igual a la alcanzada por el testigo Ténera Corpoica El Mira, de 23,0 toneladas en su cuarto año de producción (Bastidas, Reyes y Peña, 2004).

Con base en siete años de observación y cuatro de registros de producción fueron preseleccionadas 12 palmas híbridas RC1, las cuales presentaron en promedio las siguientes características: crecieron 25,8 cm/año; emitieron 19 hojas/año, cada una de las cuales tenía una superficie de 9,3 m^2; además produjeron 16 racimos/año, cada uno de 15,9 kg, que arrojan una producción anual de 35 t·ha^{-1}, superior a las 30 toneladas producidas por el testigo Ténera al 5º año de producción (Tabla 4). Estas palmas se pueden multiplicar a través de clonación o identificar con ayuda de marcadores moleculares.

El índice de racimos expresa la relación que existe entre el peso seco de los racimos y la producción total de materia seca por palma. Este es un parámetro que ha sido considerado como un indicador confiable de eficiencia, puesto que da una idea de la cantidad de materia seca total que una palma debe elaborar para producir una determinada cantidad de racimos. Su valor varía de 0 a 1, entendiéndose que cuanto mayor es mejor (Breure, 1987b). Con respecto a este parámetro, se encontró que los híbridos RC1 no fueron tan eficientes como la Palma de aceite en la distribución de elaborados fotosintéticos, porque utilizaron menor cantidad de materia seca total para producir un kilogramo de racimo. En promedio los RC1 utilizaron entre 60 y 70% de la materia seca total para producir racimos, mientras que el testigo comercial Ténera de Palma de aceite utilizó el 79%. Los RC1 preseleccionados distribuyeron el 73% para este propósito, esto explica porque la Palma de aceite es menos vigorosa que los híbridos en algunas características vegetativas como largo de las hojas, largo de los pecíolos y diámetro del tallo.

El análisis de varianza (Tabla 5) presentó diferencias entre retrocruzamientos, con 99% de probabilidades para las variables 'peso promedio de los racimos' e 'índice de racimos' y con 95% para número de racimos y producción por hectárea. Dentro de cada retrocruzamiento, los tipos de segregante se comportaron de manera similar en cuanto al peso de los racimos y al índice de racimos, mientras que el número de racimos y la producción por ha dependen del tipo de segregante.

La prueba de Duncan P>0,05 (Tabla 6) indicó que EM-0617H x EM-3713P produjo el mayor número de racimos. Este comportamiento se debe a que contiene genes de palma de aceite tipo Pisífera que se caracteriza por esta cualidad. EM-0071H x EM-0048D fue el retrocruzamiento de comportamiento más pobre en cuanto a producción de fruto. Los análisis anteriores nuevamente revelan la necesidad de las técnicas biotecnológicas, ya que éstas proporcionan una forma rápida para seleccionar el tipo de segregante deseado, sin necesidad de esperar a etapas avanzadas de vivero en donde es posible diferenciarlos por descriptores morfológicos.

Características determinantes de la producción de aceite

A nivel de laboratorio se observó que el aceite de los RC1 es de consistencia semilíquida, lo cual indica alto contenido de ácidos grasos insaturados y significa que los híbridos RC1 aún conservan genes de la palma donante, la especie *E. oleifera*.

Con respecto a las características cuantitativas de los frutos (Tabla 4) se encontró alta variación entre retrocruzamientos para los promedios de la población estudiada, así: porcentaje de cuesco en fruto desde 24,5% hasta 44,3%; porcentaje de aceite en racimo de 9,6% hasta 17,2%; y producción estimada de aceite, de 2,9 hasta 4,6 toneladas/ha; estos intervalos o rangos indican que existen posibilidades de mejoramiento a través de la selección, que se pueden encontrar respuestas desde la selección para cada una de estas características.

El retrocruzamiento EM-0617H x EM-3713P presentó un tipo segregante con frutos semejantes a los de Ténera; sin embargo, fue muy reducido el número de palmas de este tipo, encontrándose un 24,5% de cuesco en una muestra de estos frutos. En laboratorio se comprobó que el porcentaje promedio de aceite en racimo de los RC1 (14,3%) estuvo por debajo del promedio que proporciona el testigo Ténera Corpoica El Mira (27,9%). Sin embargo, fue aceptable el contenido de aceite en racimo de las palmas preseleccionadas (19,6%), que aunque sigue siendo inferior al testigo Ténera, permitió estimar una producción anual de 6,3 t·ha^{-1} de aceite; esto, junto con otras ventajas como su lento crecimiento, tolerancia a enfermedades y buena calidad de aceite, prometen hacerlos competitivos y sostenibles. La selección por producción se está realizando a partir de hibridaciones entre progenitores seleccionados del programa de mejoramiento genético de Corpoica E.E. El Mira.

El análisis de varianza para las características determinantes de la producción de aceite (Tabla 5) indicó, con 95% de probabilidades, que los retrocruzamientos únicamente se diferenciaron por el porcentaje de aceite en racimo; esta misma característica causó diferencias entre segregantes con un 99% de probabilidades.

Reacción a enfermedades

Se resalta que después de siete años de observación en sitio definitivo, el porcentaje de incidencia de las enfermedades de mayor ocurrencia en la zona palmera del municipio de Tumaco, esto es la Mancha anular, la Pudrición de cogollo y la Marchitez sorpresiva, fue de 0% en los híbridos RC1, mientras que en los segregantes del genotipo africano la incidencia acumulada fue del 6,0%, menos del 1% anual, porcentaje considerado de normal ocurrencia en las plantaciones de la región.

Estos resultados indican que la transferencia de genes para tolerancia a enfermedades de la palma Nolí (especie donante) a la Palma de aceite (especie recurrente) es un hecho comprobado tanto en los F1 como en los RC1. Varios investigadores, entre ellos Méndez (1974) y Hartley (1988) desde mucho tiempo atrás habían reportado la resistencia de los híbridos interespecíficos F1 a las enfermedades más comunes de la palma de aceite. Falta ver si los híbridos se comportan igual cuando se establezcan como monocultivo.

CONCLUSIONES

Después de siete años de evaluación se puede concluir que los híbridos RC1 presentan las siguientes características:

- Presentan una baja tasa de crecimiento, pues en promedio crecen 24,6 cm por año, lo que permite esperar una vida útil superior a 40 años.

- Toleran al ataque de enfermedades, ya que después de siete años de evaluación no se registró ninguna palma RC1 enferma, mientras que los segregantes del genotipo africano presentaron una incidencia acumulada del 6%. Esta aseveración se fundamenta en el hecho de que las palmas segregantes del tipo *Guineensis* se enfermaron de Pudrición del cogollo, lo mismo que las palmas Ténera de lotes colindantes, sin que esto ocurriera en los híbridos RC1.

- Producen aceite de consistencia semilíquida, que es un indicador de alto contenido de ácidos grasos insaturados. La literatura reporta amplia variación entre las especies paternales y los híbridos, en cuanto al perfil de los ácidos grasos, el índice de yodo y el contenido de carotenos.

- Los híbridos RC1 demuestran mayor vigor híbrido que la Palma de aceite, evidente en el grosor del tallo y la envergadura de sus hojas, características que obligan a disminuir su densidad de siembra.

- Los RC1 preseleccionados, además de su tolerancia a las enfermedades y su baja tasa de crecimiento, auguran una producción de 35 toneladas de racimos por hectárea, equivalentes a 6,3 toneladas de aceite por ha por año. Esto significa que el mejor segregante preseleccionado es en realidad una palma élite superior al promedio de todos los segregantes preseleccionados.

Los resultados finalmente señalan que existen probabilidades de obtener respuestas genéticas a la selección con estos cultivares; así mismo, que es posible encontrar hibridaciones que produzcan descendencias con un comportamiento superior al demostrado por los RC1 experimentales.

BIBLIOGRAFIA CITADA

Alvarado, A., J. Bulgarelli y B. Moya. 1988. Germinación del polen en poblaciones derivadas de un híbrido entre *Elaeis guineensis* Jacq. y *E. oleifera* HBK, Cortes. En: www.asd-cr.com/aSD-Pub/Bol20/B20-4esp.htm; consulta: septiembre de 2006.

Bastidas, S., E. Peña y R. Reyes. 2003. Avances sobre el comportamiento de los híbridos de primera generación de retrocruzamiento entre palma americana (*Elaeis oleifera*) y palma de aceite (*Elaeis guineensis*). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA. Novedades Técnicas 3(3): 32-36.

Bastidas, S., R. Reyes y E. Peña. 2004. Ténera Corpoica El Mira: Material de palma de aceite colombiano. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA. Cartilla promocional. 7 p.

Bastidas, S., E. Peña y R. Reyes. 2005. Metodología de selección para el mejoramiento genético acelerado de la palma de aceite de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Prueba de campo. Fitotecnia Colombiana 5(1): 46-52.

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 Limited. London, U.K. 92 p.

Breure, C.J. 1987b. Selección de progenitores de palma de aceite con base en el índice de racimos y productividad en Nueva Bretaña Occidental. Palmas 8(2): 39–46.

Breure, C.J. y L.R. Verdooren. 1995. Recording of traits for selection. In: Guidelines for testing and selecting parent palms in oil palm: Practical aspects and statistical methods. San José, Costa Rica. ASD Oil Palm Papers 9: 32-51.

Choo, Y.M., A.N. Ma y S.C. Yap. 1997. Carotenes, vitamin E and sterols in oils from *E. guineensis, E. oleifera* and their hybrids. Palm Oil Developments 27: 1-9.

Corley, R.H.V. 1973. Effects of plant density on growth and yield of oil palm. Expl. agric. 9: 169 – 180.

Corley, R.H.V. y C.J. Breure. 1981. Measurements in oil palm experiments. Internal Report, Unilever Plantation Group. London, U.K. 35 p.

Escobar, R. y A. Alvarado. 2004. Estrategias para la producción comercial de semillas y clones de palmas de aceite compactas. San José, Costa Rica. ASD Oil Palm Papers 27: 13-26.

Hartley, C.W.S. 1988. The oil palm *Elaeis guineensis* Jacq. 3º Ed. Longman Group, London, U.K. 761 p.

IRHO. 1973. Híbrido Interespecífico *Elaeis melanoccoca x Elaeis guineensis:* Intercambio internacional. Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux - IRHO. 5 p.

Mantilla, A.J. 2002. Establecimiento de patrones moleculares mediante marcadores RAPDs para la identificación de genotipos de las palmas aceiteras especies *Elaeis guineensis, Elaeis oleifera* e híbridos interespecíficos del C.I. El Mira - Tumaco. Tesis de grado para optar el título en Biología. Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes. Bogotá. 81 p.

Méndez, T. 1974. Report on plant breeding aspects of the oil palm programme of the Instituto Colombiano Agropecuario ICA. Kingston, Jamaica. 42 p.

Sharma, M. 1999. Utilization of Nigerian PS1 y PS2 Selection in Oil palm breeding programmes at UP Bhd. En: Proceedings of the seminar on PS1 and PS2 oil palm planting materials. Palm Oil Research Institute of Malaysia – PORIM. pp. 18-29.

Tan, G.Y. 1978. Genetic studies of some morpho-physiological characters associated with yield in oil palm (*Elaeis guineensis*). Agric. Trop. Trinidad 53: 9-16.