

Estrategias para la producción comercial de semillas y clones de palmas aceiteras para la siembra a alta densidad

Escobar R.¹, Alvarado A.

Resumen

La palma de aceite es un cultivo comercial extensivo que demanda grandes áreas de tierra para su explotación. Por otra parte, un crecimiento vigoroso (elongación rápida del tronco) constituye una limitación económica importante, porque las palmas muy altas son difíciles de cosechar y reducen la vida económica de una plantación comercial. Palmas de aceite compactas con un crecimiento lento del tronco y hojas cortas constituyen una buena alternativa para la intensificación del cultivo, al elevar su productividad por el incremento de la densidad de siembra, logrando también prolongar la explotación comercial de la plantación. Este concepto es particularmente importante en países con poca disponibilidad de tierras para el cultivo de la palma de aceite.

La palma compacta original (PCO) fue descubierta en parcelas de observación plantadas en Coto, Costa Rica, las cuales fueron sembradas con semillas de polinización abierta provenientes de un híbrido interespecífico *E. oleifera* x *E. guineensis* (OxG) con características excepcionales de lento crecimiento y hojas cortas, el cual fue identificado en 1966 en Quepos, Costa Rica. La PCO poseía tronco y hojas excepcionalmente cortas, pero lamentablemente sus racimos tenían características sub-estándar.

Para tratar de mejorar la composición del racimo de la PCO se adoptó el método de retro-cruzamiento; de los cuales se han hecho tres ciclos hacia líneas parentales *E. guineensis* desde 1978. Paralelamente y después de cada ciclo de retro-cruzamiento, palmas F₁ con características de interés fueron seleccionadas e inter-cruzadas para producir recombinantes F₂ superiores, con el objetivo de producir semillas comerciales.

El retro-cruzamiento sucesivo causó en cierta manera que la características de lento crecimiento y hojas cortas de la OCP se perdieran gradualmente por efecto de la *introgresión* de genes de *E. guineensis*, particularmente cuando se retrocruzó con líneas parentales AVROS. No obstante, el segundo y tercer ciclo de retro-cruzamiento produjeron recombinantes compactos con troncos y hojas cortas con buenas características de racimo y rendimiento de racimos comparables a las variedades tradicionales, fijándose de esta manera el carácter compacto.

Palmas compactas con características especiales tales como alto contenido de aceite en el racimo, alta producción de racimos y con tronco y hojas cortas, fueron identificadas como *ortets* para ser reproducidas por cultivo de tejidos in vitro (clones). Por otra parte, familias compactas provenientes del segundo ciclo (RC₂) fueron seleccionadas para la producción de semillas.

¹ ASD Costa Rica, r.escobar@asd-cr.com

El resultado final de todos estos esfuerzos de investigación, es la posibilidad de incrementar los rendimientos de la palma de aceite a nuevos límites, pues se pueden utilizar densidades de siembra entre 160 y 200 palmas por hectárea. La escogencia de la densidad de siembra más apropiada dependerá de las condiciones de cada sitio, particularmente en lo referente al tipo de suelo y al clima.

Introducción

La selección de palmas con un crecimiento lento del tronco ha estado siempre en la mente de los fitomejoradores de la palma de aceite, buscando prolongar la vida económica de las plantaciones comerciales. El encontrar palmas pequeñas y productivas con buen valor comercial no es una tarea fácil y existen pocos ejemplos en la literatura. Jagoe (1952) descubrió la palma ‘*Dumpy*’, la cual tenía un tronco grueso con lento crecimiento, hallazgo que constituye el primer esfuerzo de introgresión de genes de tronco corto en otras poblaciones de palma de aceite. A través del retro-cruzamiento de híbridos *E. oleifera* x *E. guineensis* (OxG), Obasola et al. (1976), ilustraron la posibilidad de mantener las características de crecimiento lento del tronco del ancestro *oleifera* en los recombinantes híbridos. Recientemente, Adon et al. (2001) demostraron que los orígenes *Dumpy* (Serdang) y Pobe definitivamente transmiten su crecimiento lento del tronco a sus descendencias en combinación con otros orígenes. En forma similar, Rajanaidu et al. (1999), identificaron las líneas PS1 de la población 12 proveniente de prospecciones en África. El mismo autor (Rajanaidu et al. 2000), indica que los genes ‘*Dumpy*’ promueven crecimiento lento en combinación con líneas parentales AVROS.

En Costa Rica, considerable esfuerzo fue puesto para la fijación de genes ‘compactos’, los cuales fueron originados de una palma especial que fue identificada en una progenie de retro-cruzamiento de un híbrido OxG de polinización abierta con *guineensis*. Los genes compactos no solo transmiten características de crecimiento lento del tronco sino que también características de hojas cortas.

El objetivo principal del programa de la palma compacta ha sido el de consolidar variedades de semillas y clones capaces de producir comercialmente a densidades de siembra más altas que la tradicional de 143 palmas por hectárea. En este trabajo se describen los eventos más importantes del programa de mejoramiento genético de la palma compacta en Costa Rica utilizando el método de retro-cruzamiento.

Materiales y métodos

Variedades de semilla para siembra a alta densidad (compactas)

La producción de racimos frescos por hectárea (kg) fue evaluada durante cinco años a partir del tercer año después de la siembra en todos los ensayos descritos en el cuadro uno. La altura del tronco desde el suelo hasta la base de la hoja 41 (cm) y el largo de la hoja (pecíolo + raquis, cm), fueron medidos a los 55 meses después de la siembra.

Cuadro 1. Resumen de eventos durante más de 30 años para fijar el gene ‘compacto’

| Población | Detalles | Año | ‘oleifera’ (%) | Palmas | Pruebas de campo |
|-------------------------------------|--|--------------|----------------|--------|------------------|
| OxG | Identificación del híbrido especial OxG de polinización abierta | 1966 | 50 | 1 | |
| PCO | Identificación de la palma compacta original | 1970 | 25 | 1 | |
| RC ₁ | Primer ciclo de retro-cruzamiento hacia La Mé, Ekona, Ulu Remis, AVROS, Yangambi y Deli <i>dura</i> | 1978 1982 | 12.5 | 567 | 1 |
| ↳ | Selección de dos palmas élite RC ₁ | 1983 | 12.5 | 2 | |
| RC ₁ F ₁ | Las dos palma élite RC ₁ <i>dura</i> y siete <i>teneras</i> seleccionadas | 1985 | 12.5 | 120 | 2 |
| ↳ | Cinco palmas élite RC ₁ F ₁ <i>dura</i> y siete <i>teneras</i> seleccionadas | 1990 | 12.5 | 12 | |
| RC ₁ F ₂ | Las palmas élite <i>dura</i> y <i>teneras</i> C ₁ F ₁ inter cruzadas y cruzadas con <i>pisíferas</i> hermanas | 1994 | 12.5 | 530 | 2 |
| RC ₁ F ₁ x Eg | Las palmas élite RC ₁ F ₁ cruzadas con progenitores <i>guineensis</i> Calabar, La Mé y AVROS | 1994 | 6.25 | 414 | 3 |
| RC ₂ | Segunda población de retrocruzamiento de dos palmas élite RC ₁ cruzadas con <i>guineensis</i> Deli x AVROS, Bamenda, Ekona y AVROS | 1985 | 6.25 | 2,330 | 4 |
| ↳ | Quince palmas élite RC ₂ <i>duras</i> y <i>teneras</i> autopolinizadas y cruzadas con <i>pisíferas</i> RC ₂ hermanas | | 6.25 | 15 | |
| RC ₂ F ₁ | Las palmas élite RC ₂ <i>duras</i> y <i>teneras</i> autopolinizadas y cruzadas con <i>pisíferas</i> RC ₂ hermanas | 1995 | 6.25 | 2,329 | 4 |
| RC ₃ | Tercera generación de retrocruzamiento originada de las palmas élite RC ₂ <i>dura</i> y <i>tenera</i> cruzadas con progenitores AVROS, Ekona, Nigeria, Calabar, La Mé y Yanagambi | 1995 | 3.125 | 1,088 | 2 |

Nota: O = *oleifera*; G = *guineensis*; Eg = *Elaeis guineensis*; RC = retrocruce; F = generación filial

- i) Parcelas de observación, para RC₁: 14-40 palmas, para RC₁F₂: 20-25 palmas; para RC₂F₁: dos ensayos, 20-40 palmas; para RC₃, un ensayo, 20-48 palmas.
- ii) Honey Comb Design, Fasoulas (1976) y Sterling, et al (1991), para RC₁F₁ x Eg, 12-30 palmas por cruzamiento.
- iii) Diseño de bloques al azar para RC₁F₁, con dos reps. y 15 palmas por rep.; para RC₂, con 4 reps, 20 palmas por rep.; para RC₂F₁, un ensayo con 3 reps y 12 palmas por rep, un segundo ensayo con 4 reps y 12 palmas por rep; y para RC₃, un ensayo con 3 reps y 12 palmas por rep.
- iv) En Honduras en 1995 un ensayo semi-comercial de 25 ha, en bloques al azar, con una densidad de 160 palmas/ha, con 7 reps y 12 palmas por parcela (84 palmas por cruzamiento).

Cuatro a seis racimos fueron analizados en el laboratorio para caracterizar cada palma durante los primeros 4 a 6 años de edad, según el método de análisis de racimo descrito por Blaak et al. 1963 y revisado por Rao et al. 1983.

En Honduras se estableció en 1995 un ensayo semi-comercial para evaluar 44 variedades DxP RC₃ compactas sembradas a una densidad de 160 palmas por hectárea y se usaron dos testigos DxP *guineensis*. El ensayo tiene siete repeticiones con 12 palmas por parcela (84 palmas por variedad). La producción de racimos fue evaluada durante tres años a partir del tercer año después de la siembra.

Clones de palmas ‘compactas’

Se evaluaron siete clones BC₂ compactos comparados con una variedad testigo AVROS DxP originada de semillas. Se usó una densidad de 170 palmas por hectárea y un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones y 12 palmas por parcela. La producción de racimos fue evaluada durante tres años a partir del tercer año después de la siembra. La altura del tronco desde el suelo hasta la base de la hoja 41 (cm) y el largo de la hoja 17 (pecíolo + raquis, cm), fueron medidos a los 51 meses después de la siembra. Los análisis de racimo fueron realizados durante los 43 a 60 meses después de la siembra. La repetitividad de ciertas características de los *ortets* seleccionados y sus respectivos *ramets* en el campo, fueron estimadas con correlaciones lineales (r^2) usando los datos del ensayo de clones CB9702.

Resultados y discusión

Fijación del carácter compacto

Desde el descubrimiento del híbrido sobresaliente *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* (OxG) en 1966 y la identificación de la palma compacta original (PCO) en los años setenta (Sterling et al. 1987), se adoptaron diferentes estrategias de mejoramiento genético para fijar genes compactos en diferentes poblaciones recombinantes, lo cual finalmente llevaría a la producción comercial de semillas y clones de este tipo. En el Cuadro 1 se resume los eventos más relevantes de más de treinta años de investigación del programa de las compactas e incluye detalles de cómo fueron conducidos los ciclos sucesivos de retro-cruzamiento. Este resumen sirve de referencia para la discusión de los resultados de cada fase.

Sterling et al. 1987, indicaron que la PCO tenía tronco y hojas cortas, pero desafortunadamente la calidad de sus racimos era baja, consecuentemente hubo necesidad de ‘*introgresar*’ genes de compacta en otras poblaciones genéticas avanzadas de *guineensis* buscando mejorar la calidad del racimo y mantener el carácter compacto de hojas y tronco corto. La adopción del método de retro-cruzamiento tuvo por objetivo encontrar combinaciones que tengan el carácter compacto (hojas y tronco corto) con rendimiento de racimos frescos y calidad de racimos mejorados. El desafío fue el de fijar los genes de la palma compacta con el fin de obtener una variedad uniforme, ya que el retro-cruzamiento da lugar a una segregación de una serie de fenotipos diferentes, los cuales muestran características extremas e intermedias. Consecuentemente, encontrar las combinaciones correctas fue la clave del programa.

Otro aspecto importante fue el de la selección de las poblaciones *guineensis* como donantes de genes para mejorar el contenido de aceite en los racimos y el rendimiento de racimos frescos de las líneas compactas. Desde el inicio del programa se juzgó que los genes de compacta vinieron del ancestro *oleifera*, por lo tanto, se estimó que podría ocurrir una dilución de estos genes por el efecto de las retrocruzas sucesivas hacia *guineensis*, la cual probablemente haría perder el carácter compacto. Sin embargo, la probabilidad de encontrar segregantes con todas las características deseables era igualmente factible a pesar de la dilución de los genes *oleifera* en las diferentes fases de retro-cruzamiento (Cuadro 1). La producción de semillas compactas fue iniciada usando la población del segundo ciclo de retro-cruzamiento (RC₂ F₁); aunque ésta tiene solo 6.25% de genes *oleifera* comparada con la PCO que tiene 25% de esos genes (Cuadro 1).

Los valores relativamente bajos de rendimiento de racimos que se discuten en este trabajo, no reflejan el potencial productivo comercial de las variedades compactas, son más bien producto de las diferencias de las condiciones experimentales, tales como baja radiación solar y la competencia entre plantas. Estos aspectos se mencionarán más adelante, por ahora se debe focalizar en el potencial productivo de las nuevas variedades compacta comparadas con una variedad comercial clásica *guineensis* (Deli x AVROS) en condiciones experimentales similares. El cuadro dos resume el programa de las compactas; y se muestra cómo las diferentes poblaciones compacta fueron gradualmente mejoradas hasta llegar a un nivel comparable al del testigo AVROS DxP, en términos de producción de racimos frescos y aceite.

Cuadro 2. Promedio de tres ciclos de retro-cruzamiento de germoplasma compacta hacia parentales *guineensis* (segregantes *tenera* únicamente)

| Tipo | Palmas | RF | NR | PR | T | LH | F/R | M/F | A/M | A/R | A/ha |
|-------------------------------------|--------|-------|----|------|-----|-----|------|------|------|------|------|
| RC ₁ | 567 | 114.1 | 18 | 6.3 | 43 | 497 | 62.0 | 78.1 | 43.5 | 21.1 | 3.4 |
| AVROS DxP | 48 | 147.5 | 22 | 6.7 | 79 | 570 | 63.7 | 80.5 | 44.8 | 23.0 | 4.8 |
| RC ₁ F ₁ | 120 | 104.2 | 18 | 5.8 | 59 | 403 | 66.2 | 79.5 | 43.8 | 23.1 | 3.4 |
| AVROS DxP | 75 | 178.9 | 18 | 9.9 | 71 | 549 | 70.6 | 80.3 | 41.4 | 23.5 | 6.0 |
| RC ₁ F ₁ x Eg | 414 | 161.8 | 25 | 6.4 | 96 | 549 | 69.2 | 77.0 | 47.3 | 25.2 | 5.8 |
| AVROS DxP | 56 | 229.4 | 28 | 8.2 | 156 | 642 | 69.6 | 86.7 | 48.6 | 29.3 | 9.6 |
| RC ₁ F ₂ | 530 | 129.0 | 21 | 6.1 | 79 | 416 | 67.5 | 78.3 | 42.6 | 22.5 | 4.2 |
| RC ₂ | 2,330 | 152.9 | 13 | 11.7 | 53 | 497 | 67.6 | 82.0 | 47.3 | 26.2 | 5.7 |
| AVROS DxP | 561 | 175.1 | 15 | 11.7 | 79 | 570 | 70.0 | 81.5 | 44.9 | 25.6 | 6.4 |
| RC ₂ F ₁ | 2,329 | 134.6 | 25 | 5.3 | 51 | 487 | 65.8 | 84.2 | 53.8 | 29.8 | 5.7 |
| AVROS DxP | 140 | 158.6 | 18 | 8.8 | 86 | 637 | 69.6 | 85.7 | 46.0 | 27.4 | 6.2 |
| RC ₃ | 1,088 | 167.0 | 24 | 7.0 | 92 | 583 | 68.6 | 81.0 | 49.9 | 27.7 | 6.6 |
| AVROS DxP | 32 | 180.2 | 18 | 10.0 | 113 | 682 | 66.4 | 85.4 | 45.7 | 25.9 | 6.7 |

RC = retrocruzamiento; RF = kg/palma/año; T = altura del tronco (cm); LH = longitud de la hoja (cm); F/R = fruta en el racimo (%); M/F mesocarpio en el fruto (%); A/M aceite en el mesocarpio (%); A/R = aceite en el racimo (%); A/ha = aceite/ha/año en toneladas.

Primer ciclo de retro-cruzamiento

Los resultados del primer ciclo de retro-cruzamiento (RC_1) mostraron que la calidad inferior de la palma compacta original (PCO) podía ser mejorada substancialmente (Sterling et al. 1987), pero todavía estaba por debajo en comparación con el testigo comercial DxP Deli x AVROS. Sin embargo, las características de tronco y hojas cortas de la PCO fueron mantenidas (Cuadro 2), a pesar que los genes *oleifera* se diluyeron de 25% a 12.5% (Cuadro 1). La diferencia promedio de la altura del tronco entre las palmas compactas RC_1 y el testigo fue de 36 cm y del largo de las hojas de 73 cm ($P < 0.05$). Sin embargo, las palmas compactas tuvieron un rendimiento de racimos frescos (RF) menor y el contenido de aceite en el racimo (A/R %) también fue bajo, lo que resultó en un baja producción de toneladas de aceite por hectárea (A/ha) ($P < 0.05$).

Dos palmas compactas fueron seleccionadas en el primer ciclo de retro-cruzamiento RC_1 , una de ellas con 50% de sus genes AVROS y la otra con 50% de genes La Mé. Estas palmas mostraban una producción de racimos menor que el testigo DxP AVROS, pero sus troncos y hojas eran considerablemente más cortos. El ancestro La Mé de la palma 122T le confirió un tronco aun más corto (Cuadro 3).

Cuadro 3. Palmas Elite RC_1 comparadas con sus respectivos promedios de progenies y el testigo DxP, Deli x AVROS

| Palma | Progenitor femenino | Progenito masculino | RF | T | LH | F/R | M/F | A/M | A/R | A/ha |
|----------------------------|------------------------|------------------------|-------|----|-----|------|------|------|------|------|
| 20T | QB49:238T | HC129:974T | 78.4 | 55 | 449 | 78.0 | 79.4 | 43.6 | 27.0 | 3.0 |
| Promedio de la progenie | | | 102.0 | 54 | 512 | 64.0 | 79.6 | 47.2 | 24.0 | 3.5 |
| 122T | QB49:238T | BRT10:L7T | 65.3 | 30 | 456 | 74.0 | 76.6 | 50.6 | 28.7 | 2.7 |
| Promedio de la progenie | | | 88.0 | 51 | 475 | 70.6 | 76.1 | 49.1 | 26.4 | 3.3 |
| Población RC_1 | | | 114.1 | 43 | 497 | 62.0 | 78.1 | 43.5 | 21.1 | 3.4 |
| Testigo AVROS DxP | | | 147.5 | 79 | 570 | 63.7 | 80.5 | 44.8 | 23.0 | 4.8 |

RC = retro-cruzamiento; RF = kg/palma/año; T = altura del tronco (cm); LH = longitud de la hoja (cm); F/R = fruta en el racimo (%); M/F mesocarpio en el fruto (%); A/M aceite en el mesocarpio (%); A/R = aceite en el racimo (%); A/ha = aceite/ha/año en toneladas.

Se intentó producir semillas comerciales por primera vez usando palmas compactas *segregantes* originadas de las dos palmas élite identificadas en la población del primer ciclo de retro-cruzamiento RC_1 (Cuadro 3), las cuales fueron a su vez inter-cruzadas y auto-fecundadas para producir la primera generación filial $RC_1 F_1$. De esta población $RC_1 F_1$ fueron seleccionadas cinco palmas compactas *dura* y siete *teneras* (Cuadro 4). Finalmente estas palmas seleccionadas

fueron cruzadas con *guineensis* parentales (RC₁ F₁ x Eg) para constituir la primera prueba de progenie de compactas, cuyos resultados se presentan en el cuadro cinco.

Cuadro 4. Recombinantes élite de compactas BC₁F₁ comparadas con sus respectivos promedios de toda la progenie y el testigo DxP, Deli x AVROS

| Palma | Progenitor femenino | Progenitor masculino | RF | T | LH | F/R | M/F | A/M | A/R | A/ha |
|--------------------------------|---------------------|----------------------|-------|----|-----|------|------|------|------|------|
| 15D | C288:20T | C333:122T | 75.1 | 48 | 375 | 69.6 | 57.3 | 47.4 | 18.9 | 2.0 |
| 34D | C288:20T | C333:122T | 81.7 | 61 | 435 | 65.7 | 56.3 | 50.7 | 18.8 | 2.2 |
| 43D | C288:20T | C333:122T | 61.5 | 31 | 359 | 64.9 | 64.8 | 52.2 | 21.9 | 1.9 |
| 52D | C288:20T | C333:122T | 97.8 | 46 | 449 | 76.1 | 54.0 | 40.9 | 16.8 | 2.3 |
| 36D | C288:20T | Self | 79.0 | 43 | 308 | 69.1 | 54.1 | 45.7 | 17.1 | 1.9 |
| Medias (<i>duras</i>) | | | 79.0 | 46 | 385 | 69.1 | 57.3 | 47.4 | 18.7 | 2.1 |
| 13T | C288:20T | Self | 110.8 | 54 | 411 | 64.4 | 86.0 | 43.3 | 24.0 | 3.8 |
| 40T | C288:20T | Self | 83.7 | 48 | 411 | 49.1 | 80.9 | 45.4 | 18.0 | 2.2 |
| 64T | C288:20T | Self | 81.5 | 62 | 438 | 72.2 | 87.9 | 44.3 | 28.1 | 3.3 |
| 67T | C288:20T | Self | 66.3 | 68 | 408 | 60.6 | 84.7 | 45.8 | 23.5 | 2.2 |
| 12T | C288:20T | C333:122T | 64.2 | 54 | 422 | 76.6 | 79.1 | 49.8 | 30.2 | 2.8 |
| 16T | C288:20T | C333:122T | 48.9 | 48 | 429 | 75.6 | 81.9 | 46.3 | 28.6 | 2.0 |
| 22T | C288:20T | C333:122T | 83.0 | 42 | 390 | 67.0 | 77.8 | 49.6 | 25.9 | 3.1 |
| Medias (<i>teneras</i>) | | | 76.9 | 54 | 416 | 66.5 | 82.6 | 46.3 | 25.5 | 2.8 |
| Media | C288:20T | C333:122T | 88.3 | 60 | 442 | 65.5 | 79.4 | 44.7 | 23.2 | 2.9 |
| Media | C288:20T | Self | 69.2 | 69 | 427 | 59.3 | 85.6 | 40.9 | 20.8 | 2.1 |
| BC ₁ F ₁ | | | 104.2 | 59 | 403 | 66.2 | 79.5 | 43.8 | 23.1 | 3.4 |
| AVROS DxP | | | 178.9 | 71 | 549 | 70.6 | 80.3 | 41.4 | 23.5 | 6.0 |

RC = retro-cruzamiento; RF = kg/palma/año; T = altura del tronco (cm); LH = longitud de la hoja (cm); F/R = fruta en el racimo (%); M/F mesocarpio en el fruto (%); A/M aceite en el mesocarpio (%); A/R = aceite en el racimo (%); A/ha = aceite/ha/año en toneladas.

Todas las palmas seleccionadas de la población RC₁F₁ las cuales fueron usadas para la primera prueba de progenie de compacta, mostraron hojas y troncos cortos, pero relativamente baja producción de racimos frescos (RF) y aceite por hectárea (A/ha) (Cuadro 4). Se esperaba que estas palmas en combinación con líneas avanzadas *guineensis* produjeran progenies recombinantes con mejor productividad de racimos y aceite, pero conservando el carácter compacto (troncos + hojas cortas). Los resultados de esta primera prueba de progenies no fueron satisfactorios como se esperaba, porque los parámetros de producción de las progenies compactas estuvieron por debajo del testigo DxP AVROS (P<0.05). Sin embargo, y quizás lo

más importante de estas pruebas experimentales, fue que el carácter de compacta fue mantenido (Cuadro 5)

Cuadro 5. Primer intento de producir semillas usando recombinantes de compacta RC_1F_1 cruzados con varias poblaciones *guineensis* (Datos de los segregantes *tenera* únicamente)

| Variedad | Cruces | Palmas | RF | T | LH | F/R | M/F | A/M | A/B | A/ha |
|-------------------------|--------|--------|-------|-----|-----|------|------|------|------|------|
| BC_1F_1 x Ghana (DxT) | 4 | 103 | 162.6 | 97 | 546 | 71.1 | 77.0 | 46.8 | 25.6 | 6.0 |
| BC_1F_1 x Ghana (TxT) | 5 | 50 | 146.0 | 94 | 544 | 69.2 | 79.9 | 48.4 | 26.8 | 5.6 |
| BC_1F_1 x La Mé (TxT) | 2 | 24 | 174.0 | 97 | 565 | 69.4 | 74.8 | 46.1 | 23.9 | 5.9 |
| BC_1F_1 x La Mé (DxT) | 4 | 90 | 162.0 | 98 | 557 | 66.5 | 76.5 | 49.0 | 24.9 | 5.8 |
| Deli x BC_1F_1 (DxT) | 4 | 57 | 155.2 | 93 | 532 | 69.9 | 77.3 | 46.4 | 25.1 | 5.6 |
| BC_1F_1 x AVROS (DxT) | 1 | 32 | 181.0 | 98 | 581 | 71.1 | 77.5 | 46.4 | 25.5 | 6.6 |
| Promedio | | | 158.4 | 95 | 549 | 68.9 | 77.5 | 47.6 | 25.4 | 5.7 |
| BC_1F_1 x Eg Total | 15 | 428 | 161.8 | 96 | 549 | 69.2 | 77.0 | 47.3 | 25.2 | 5.8 |
| Deli x AVROS (DxP) | 1 | 56 | 229.4 | 156 | 642 | 69.6 | 86.7 | 48.6 | 29.3 | 9.6 |

RC = retro-cruzamiento; RF = kg/palma/año; T = altura del tronco (cm); LH = longitud de la hoja (cm); F/R = fruta en el racimo (%); M/F mesocarpio en el fruto (%); A/M aceite en el mesocarpio (%); A/R = aceite en el racimo (%); A/ha = aceite/ha/año en toneladas.

Otra enseñanza fue el efecto del diseño experimental sobre los resultados de esta primera prueba de progenie. Desdichadamente el uso del diseño de anillos hexagonales, popularizado por Fasoulas, (1976), que permite plantar una palma de cada cruzamiento en anillos hexagonales a lo largo del campo experimental, incidió para que el testigo DxP AVROS, que tiene un crecimiento mucho más vigoroso que las compactas, sombreara a las palmas vecinas en los anillos hexagonales y mostrara un rendimiento de racimos frescos y aceite muy superior que cuando se la planta en campos homogéneos. El diseño de anillos hexagonales no es recomendable para este tipo de pruebas de campo, a no ser que se plante las palmas sin competencia por luz. A pesar de los resultados poco satisfactorios de la prueba de progenies del primer ciclo de retro-cruzamiento, la estabilidad del carácter de compacta en todas las combinaciones fue un estímulo importante para continuar con el programa (Cuadro 5).

Se intentó producir semilla de compacta por segunda vez usando los recombinantes de la segunda generación filial RC_1F_2 , la cual fue originada de *intercruzar* las cinco palmas compactas

duras y las siete *teneras* descritas en el cuadro cuatro. Estas palmas también fueron cruzadas con *pisíferas* compactas RC₁F₁ de la primera generación filial. Las características de estos cruzamientos se presentan en el cuadro seis, y a pesar de que no se los comparó con un testigo *guineensis* DxP, nuevamente los resultados no fueron promisorios.

Cuadro 6. Segundo intento de producir semillas usando la población compacta RC₁F₂ (datos de los *segregantes tenera* únicamente)

| Tipo de cruce | Palmas | RF | T | LH | F/R | M/F | A/M | A/B | A/ha |
|---------------|--------|-------|----|-----|------|------|------|------|------|
| TxP | 60 | 127.9 | 74 | 435 | 67.0 | 79.5 | 42.6 | 22.6 | 4.1 |
| TxT | 71 | 115.9 | 73 | 395 | 66.1 | 78.3 | 43.2 | 22.3 | 3.7 |
| TxD | 74 | 83.3 | 82 | 414 | 69.3 | 78.9 | 42.4 | 22.9 | 2.7 |

RC = retrocruzamiento; RF = kg/palma/año; T = altura del tronco (cm); LH = longitud de la hoja (cm); F/R = fruta en el racimo (%); M/F mesocarpio en el fruto (%); A/M aceite en el mesocarpio (%); A/R = aceite en el racimo (%); A/ha = aceite/ha/año en toneladas.

Segundo ciclo de retro-cruzamiento

Un segundo ciclo de retro-cruzamiento (RC₂) fue generado con las dos palmas seleccionadas RC₁ del primer ciclo descritas en el cuadro tres, las cuales fueron cruzadas con *guineensis* Deli x AVROS y parentales Bamenda, Ekona, Nigeria y AVROS. La razón por la cual se avanzó a un segundo ciclo de retro-cruzamiento fue el hecho de que el carácter de compacta se mantuvo consistentemente en las diferentes combinaciones genéticas del primer ciclo, a pesar de la dilución de los genes *oleifera*. Esto significa que la *introgresión* de genes *guineensis* por retro-cruzamiento constituyó una buena opción para seguir mejorando la baja productividad de racimos frescos y aceite observados en las palmas de compacta del primer ciclo (Cuadros 5 y 6).

Con el objetivo de *introgresar* genes de compacta en una variedad comercial *guineensis* uniforme y estable, se consideró una buena opción usar parentales *guineensis* Deli x AVROS con 50% de genes Deli y 50% Ekona o de genes AVROS puros, manteniendo siempre el objetivo de aumentar la frecuencia de genes *guineensis* deseables en las variedades de compacta del primer ciclo. La excepción fue el uso de líneas parentales Bamenda, como fuente de nuevos genes *guineensis*, en virtud de ser un material genético no tan extensamente manipulado como las variedades comerciales y que podría generar nuevas combinaciones interesantes (Cuadro 7).

La productividad de racimos frescos (RF) y la calidad del racimo fueron substancialmente mejoradas en el segundo ciclo de retro-cruzamiento. Las progenies compactas de este ciclo con apenas 6.25% de genes *oleifera* se acercaron al nivel del testigo DxP Deli x AVROS. Las combinaciones con Bamenda fueron particularmente superiores (Cuadro 7).

La altura del tronco y el largo de la hoja de las compactas RC₂ del segundo ciclo de retro-cruzamiento se mantuvieron menores que el testigo DxP AVROS en todas las combinaciones genéticas (Cuadro 7). Con estos resultados se construyó la primera generación filial RC₂F₁, la cual fue originada de autofecundaciones de palmas *duras* y *teneras* elite RC₂ y de cruzamientos

de estas palmas con *pisíferas* hermanas RC₂, para intentar producir semillas por tercera vez (Cuadro 8).

Cuadro 7. Segundo ciclo de retrocruzamiento (RC₂) usando la palma élite RC₁ cruzadas con varias líneas parentales *guineensis* (datos de los *segregantes tenera* únicamente)

| Progenitor femenino | Progenitor masculino | Cruces | Palmas | RF | T | LH | F/R | M/F | A/M | A/B | A/ha |
|---------------------|----------------------|--------|--------|-------|----|-----|------|------|------|------|------|
| Deli x AVROS T | BC ₁ T | 7 | 852 | 135.2 | 52 | 497 | 68.7 | 81.4 | 45.6 | 25.4 | 4.9 |
| BC ₁ T | AVROS P | 1 | 169 | 141.4 | 60 | 463 | 71.3 | 73.9 | 46.2 | 24.3 | 4.9 |
| Bamenda T | BC ₁ T | 2 | 57 | 139.5 | 54 | 491 | 65.5 | 80.9 | 49.3 | 26.1 | 5.2 |
| Ekona T | BC ₁ T | 4 | 841 | 134.9 | 53 | 508 | 66.6 | 83.7 | 49.6 | 27.6 | 5.3 |
| Deli x AVROS DxP | | 1 | 561 | 175.1 | 79 | 570 | 70.0 | 81.5 | 44.9 | 25.6 | 6.4 |

RC = retro-cruzamiento; RF = kg/palma/año; T = altura del tronco (cm); LH = longitud de la hoja (cm); F/R = fruta en el racimo (%); M/F mesocarpio en el fruto (%); A/M aceite en el mesocarpio (%); A/R = aceite en el racimo (%); A/ha = aceite/ha/año en toneladas.

La calidad de los racimos fue mejorada en las compactas *tenera* RC₂ que recibieron genes Ekona, particularmente el mesocarpio (M/F) y el aceite en el fruto (A/F), resultaron superiores al testigo DxP Deli x AVROS. En las palmas compactas RC₂ individuales, se destacan las palmas 494D y 173D (Cuadro 9).

Cuadro 8. Recombinantes compactos élite RC₂ comparados con el testigo DxP Deli x AVROS

| Tipo | Origen | Palmas | RF | T | LH | F/R | M/F | A/M | A/B | A/ha |
|----------------|--------------------------------|--------|-------|----|-----|------|------|------|------|------|
| <i>Duras</i> | D. AVROS TxBC ₁ T | 5 | 131.1 | 49 | 537 | 72.6 | 58.9 | 55.9 | 22.5 | 4.2 |
| <i>Duras</i> | Ekona TxBC ₁ T | 5 | 156.7 | 56 | 489 | 74.8 | 58.4 | 55.0 | 23.1 | 5.3 |
| <i>Teneras</i> | D. AVROS T x BC ₁ T | 8 | 131.1 | 54 | 506 | 70.4 | 81.4 | 51.3 | 28.2 | 5.3 |
| <i>Teneras</i> | Ekona TxBC ₁ T | 7 | 144.3 | 57 | 511 | 68.6 | 87.3 | 53.9 | 30.6 | 6.3 |
| AVROS DxP | | 561 | 175.1 | 79 | 570 | 70.0 | 81.5 | 44.9 | 25.6 | 6.4 |

RC = retro-cruzamiento; RF = kg/palma/año; T = altura del tronco (cm); LH = longitud de la hoja (cm); F/R = fruta en el racimo (%); M/F mesocarpio en el fruto (%); A/M aceite en el mesocarpio (%); A/R = aceite en el racimo (%); A/ha = aceite/ha/año (t).

Tal como se comentó anteriormente, el carácter de compacta se mantuvo en el segundo ciclo; el tronco fue en promedio 36 cm más corto y las hojas 131 cm más cortas que el testigo DxP AVROS (Cuadro 9). Cabe indicar que las diferencias de la altura del tronco de palmas compactas individuales con el testigo pueden ser mucho mayores con la edad, tal como se comenta más adelante. Igualmente, palmas compactas individuales pueden tener hojas considerablemente más cortas que el testigo.

Cuadro 9, Tercer intento de producir semillas usando la población compacta RC_2F_1 . Resultados de las pruebas de progenie usando palmas *duras* élite RC_2F_1

| Palma | Cruces | RF | T | LH | F/R | M/F | A/M | A/R | A/ha |
|---------------------|--------|-------|----|-----|------|------|------|------|------|
| 187D | 5 | 127.9 | 54 | 513 | 69.0 | 82.3 | 48.5 | 27.6 | 5.1 |
| 306D | 6 | 126.9 | 55 | 530 | 69.8 | 85.7 | 51.7 | 31.0 | 5.6 |
| 485D | 5 | 140.2 | 58 | 524 | 67.1 | 79.9 | 51.0 | 27.3 | 5.5 |
| 493D | 5 | 110.0 | 47 | 492 | 68.0 | 84.4 | 54.4 | 31.3 | 5.1 |
| 494D | 1 | 153.1 | 57 | 528 | 66.5 | 85.6 | 53.2 | 30.4 | 6.8 |
| 173D | 2 | 133.6 | 54 | 507 | 65.7 | 85.1 | 54.0 | 30.2 | 5.9 |
| 220D | 4 | 122.9 | 41 | 499 | 67.0 | 79.6 | 50.0 | 26.8 | 4.7 |
| 233D | 3 | 121.7 | 53 | 504 | 67.9 | 79.9 | 49.5 | 26.9 | 4.7 |
| 298D | 3 | 115.4 | 42 | 480 | 66.4 | 80.9 | 50.0 | 26.8 | 4.6 |
| 59D | 2 | 117.2 | 44 | 504 | 67.0 | 81.0 | 52.2 | 28.3 | 4.8 |
| Promedio | | 126.9 | 50 | 506 | 67.2 | 82.1 | 51.4 | 28.4 | 5.2 |
| Deli x AVROS DxP | | 158.6 | 86 | 637 | 69.6 | 85.7 | 46.0 | 27.4 | 6.2 |

RC = retro-cruzamiento; RF = kg/palma/año; T = altura del tronco (cm); LH = longitud de la hoja (cm); F/R = fruta en el racimo (%); M/F mesocarpio en el fruto (%); A/M aceite en el mesocarpio (%); A/R = aceite en el racimo (%); A/ha = aceite/ha/año en toneladas.

Con base a los resultados satisfactorios encontrados en el segundo ciclo, en 2002 se inició finalmente la producción de semillas comerciales usando la población compacta $RC_2 F_1$, como una alternativa de sembrarlas a 180 palmas por hectárea en regiones donde la radiación solar es mayor a 400 langley/día ($cal/cm^2 /día$) y a 160 palmas por hectárea en regiones con menor radiación solar que el nivel indicado.

Tercer ciclo de retro-cruzamiento

Los resultados satisfactorios obtenidos con la población $RC_2 F_1$ del segundo ciclo, condujeron a establecer un tercer ciclo de retro-cruzamiento (RC_3) usando palmas compactas elite RC_2 cruzadas con varias líneas avanzadas de *guineensis* (Cuadro 10). En términos de producción de racimos frescos (RF) y aceite por hectárea (A/ha), las palmas compactas RC_3 del tercer ciclo

mostraron un nivel satisfactorio y similar al testigo D x P Deli x AVROS ($P < 0.05$), el mesocarpio en el fruto (M/F) y el aceite en el mesocarpio (A/M) fueron mejorados notablemente.

Cuadro 10. Pruebas de progenie del tercer ciclo de retro-cruzamiento (RC_3) usando palmas compactas élite RC_2 cruzadas con varios orígenes *guineensis* (datos de los *segregantes tenera*)

| Tipo de cruce | Cruces | Palmas | RF | T | LH | F/R | M/F | A/M | A/R | A/ha |
|-------------------------------|--------|--------|-------|-----|-----|------|------|------|------|------|
| BC ₂ T x AVROS T | 6 | 157 | 160.7 | 103 | 587 | 69.0 | 84.0 | 49.7 | 28.8 | 6.8 |
| BC ₂ T x Ekona t | 3 | 94 | 171.6 | 93 | 610 | 67.8 | 84.3 | 51.5 | 29.5 | 5.6 |
| BC ₂ T x Nigeria T | 5 | 122 | 163.1 | 92 | 576 | 67.5 | 82.7 | 48.8 | 27.3 | 6.9 |
| BC ₂ T x Calabar T | 6 | 152 | 161.8 | 84 | 580 | 70.7 | 80.7 | 49.5 | 28.3 | 6.6 |
| BC ₂ T x La Mé | 3 | 96 | 172.2 | 81 | 578 | 69.2 | 73.5 | 45.3 | 23.1 | 7.0 |
| BC ₂ T x Yangambi | 5 | 133 | 147.9 | 92 | 575 | 68.7 | 80.3 | 56.2 | 31.0 | 6.8 |
| Promedio | | | 162.9 | 91 | 584 | 68.8 | 80.9 | 50.2 | 28.0 | 6.6 |
| Deli x AVROS D x P | 1 | 32 | 180.2 | 113 | 682 | 66.4 | 85.4 | 45.7 | 25.9 | 6.7 |

RC = retro-cruzamiento; RF = kg/palma/año; T = altura del tronco (cm); LH = longitud de la hoja (cm); F/R = fruta en el racimo (%); M/F mesocarpio en el fruto (%); A/M aceite en el mesocarpio (%); A/R = aceite en el racimo (%); A/ha = aceite/ha/año en toneladas.

A pesar que las palmas compactas del tercer ciclo tuvieron su carga de genes *oleifera* reducida a solamente 3.25%, ellas continuaron mostrando el carácter de compacta (tronco + hojas cortas) a los 55 meses después de la siembra, con troncos y hojas que en promedio fueron 22 cm y 98 cm más cortas que el testigo, respectivamente. La aparente pequeña diferencia promedio de 22 cm de la altura del tronco, se torna más relevante a medida que la palma envejece, pudiendo llegar a ser alrededor de hasta 1.5 m a la edad de 8 años. Por otro lado, la diferencia en el largo de las hojas de las compactas comparadas con el testigo es más consistente con la edad y se sitúa dentro de un rango de 90 a 120 cm. Lógicamente palmas compactas individuales dentro de las diferentes poblaciones mostrarán diferencias en el largo de la hoja aun mayores a las mencionadas (Cuadro 11).

En Honduras, los resultados de un ensayo semi-comercial de 25 ha, establecido para evaluar 44 cruzamientos de compacta RC_3 del tercer ciclo y dos variedades comerciales como testigo, confirman que el potencial de producción de racimos frescos (RF) de las compactas RC_3 es alto, durante los tres primeros años de la fase productiva y a una densidad de 160 palmas por hectárea (Cuadro 12). Las mejores combinaciones RC_3 resultaron con líneas parentales *guineensis* de origen Tanzania y Calabar, las cuales fueron superiores a las variedades comerciales *guineensis* D x P Deli x Ekona y Deli x La Mé. La diferencia de producción de RF de la variedad RC 3 Tanzania comparada con el testigo *guineensis* D x P Deli x Ekona fue significativa ($P < 0.05$). Se

espera que en este ensayo las variedades compactas RC₃ van a producir gradualmente más RF que los testigos comerciales DxP cuando la competencia por luz de los testigos se torne más severa con la edad, por tener hojas más largas que las compactas RC₃ a la densidad de 160 palmas por hectárea.

Cuadro 11. Diferencias promedio de la altura del tronco y largo de la hoja entre palmas compactas RC₁F₁ y el testigo DxP AVROS

| Edad (años) | Altura del tronco (cm) | Longitud de la hoja (cm) |
|-------------|------------------------|--------------------------|
| 3 | 0 | 113 |
| 4 | 5 | 120 |
| 5 | 16 | 99 |
| 6 | 61 | 92 |
| 7 | 92 | 111 |
| 8 | 129 | 114 |

Nota: RC₁F₁ = primer ciclo de retrocruzamiento, generación filial uno

De una manera general, las variedades compactas RC₃ producen racimos más pequeños y más numerosos que las variedades testigo (Cuadro 12). Esta característica es ventajosa, según la tendencia actual de la industria de preferir racimos pequeños; también se estima que las variedades más productivas son aquellas que tienen racimos pequeños pero más numerosos.

Cuadro 12. Rendimiento promedio de compactas del tercer ciclo (RC₃) en Honduras comparadas con dos testigos DxP *guineensis*

| Variedad RC ₃ | RF (t/ha/año) | NR (palma/año) | R (kg) | RF Ac (t/ha) |
|--------------------------------|---------------|----------------|--------|--------------|
| BC ₂ D x Calabar P | 22.7 | 18 | 8.0 | 90.6 |
| BC ₂ D x Ekona P | 21.7 | 18 | 7.7 | 86.7 |
| BC ₂ D x La Mé P | 21.9 | 18 | 7.6 | 87.5 |
| BC ₂ D x Tanzania P | 23.0 | 18 | 7.9 | 92.2 |
| Promedio | 22.3 | 18 | 7.8 | 89.3 |
| Deli x Ekona P | 19.5 | 14 | 8.5 | 78.1 |
| Deli x La Mé P | 21.2 | 16 | 8.5 | 84.7 |

Fuente: Excelí Arias, San Alejo, Honduras (comunicación personal); RC = retrocruzamiento; RF = rendimiento de racimos; RF Ac = rendimiento acumulado de los tres primeros años de cosecha; NR = número de racimos; R = peso promedio del racimo

Clones de palmas compactas

Una ventaja importante del método de retro-cruzamiento, que en este caso fue usado para fijar genes de compacta, es la posibilidad de seleccionar palmas compactas individuales de alto rendimiento dentro de las varias poblaciones generadas con el propósito de clonarlas. La principal ventaja de la clonación, teniendo en mente la producción masiva de copias exactas de palmas especiales como las compactas, es la de fijar características deseables en forma más eficiente que por los métodos tradicionales de mejoramiento por semillas. Por otra parte, la clonación permite reproducir palmas superiores sin prestar mucha importancia al origen de las mismas, lo que aumenta enormemente las probabilidades de consolidar clones comerciales de alta productividad.

Aparte de considerar como prioridad el carácter de compacta (tronco + hojas cortas), para la selección de *ortets* superiores se consideró un estándar mínimo de 150 kg/palma/año de producción de RF y una buena composición del racimo, principalmente con un contenido mínimo de mesocarpio en el fruto de 85% y un mínimo de aceite en el fruto de 50%. Sin embargo, se incluyeron algunos clones sub-estándar para verificar la repetitividad de las principales características que se desean reproducir en los clones.

No se discutirá en detalle la evaluación de clones de compacta en el presente trabajo, pero a manera de ilustración general del potencial de los clones de compacta, se presentan en el cuadro trece los resultados del ensayo CB9702, el cual fue establecido para evaluar siete clones de compacta a una densidad de 170 palmas por hectárea

Cuadro 13. Rendimiento potencial de los clones de compacta RC₂ comparados con un testigo DxP AVROS control. Ensayo CB9702, siembra 1997

| Clon | RF | T | LH | F/R | M/F | A/M | A/R | A/ha |
|-----------|-------|----|-----|------|------|------|------|------|
| 423T | 161.5 | 62 | 606 | 72.7 | 75.7 | 45.2 | 24.9 | 6.8 |
| 217T | 179.8 | 65 | 573 | 69.4 | 83.5 | 54.7 | 31.7 | 9.7 |
| 135T | 112.4 | 80 | 524 | 69.7 | 80.7 | 54.9 | 30.9 | 5.9 |
| 514T | 210.2 | 83 | 574 | 65.6 | 85.0 | 46.5 | 25.9 | 9.3 |
| 465T | 125.1 | 97 | 541 | 70.3 | 84.9 | 50.9 | 30.4 | 6.5 |
| 273T | 136.5 | 74 | 606 | 68.7 | 86.3 | 56.9 | 33.7 | 7.8 |
| 367T | 116.6 | 64 | 539 | 65.1 | 80.7 | 49.2 | 25.8 | 5.1 |
| Promedio | 148.9 | 75 | 566 | 68.8 | 82.4 | 51.2 | 29.0 | 7.3 |
| DxP AVROS | 163.2 | 95 | 646 | 70.7 | 84.6 | 47.5 | 28.4 | 7.9 |

RC = retrocruzamiento; RF = kg/palma/año; T = altura del tronco (cm); LH = longitud de la hoja (cm); F/R = fruta en el racimo (%); M/F mesocarpio en el fruto (%); A/M aceite en el mesocarpio (%); A/R = aceite en el racimo (%); A/ha = aceite/ha/año en toneladas.

Dos clones de compacta resultaron sobresalientes: 217T y 514T, los cuales fueron más productivos que el testigo DxP AVROS, tanto en producción de racimos frescos como en aceite por hectárea. El clon 217T mostró un alto contenido de aceite en el mesocarpio por encima del 50%, característica que hizo que este clon rindiera más aceite por hectárea que el clon 514T, 9.7 vs. 9.3 t, a pesar de tener menor producción de RF, 179.8 vs. 210.2 kg/palma/año. El clon 273 mostró un rendimiento similar al testigo ($P < 0.05$), nuevamente debido a su alto contenido de aceite en el mesocarpio de 56.9% más que a la producción de racimos frescos (Cuadro 13) El resto de los clones compactos tuvieron un desempeño inferior al testigo DxP. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Soh (1986) y Soh et al. (2001), quienes señalan que a pesar de seleccionar *ortets* de poblaciones genéticas avanzadas, existe la necesidad de conducir pruebas de campo para constatar su valor comercial.

La mayoría de los clones conservaron el carácter de compacta (tronco + hojas cortas), mostrando en promedio troncos 20 cm más cortos y hojas 80 cm más cortas que el testigo DxP AVROS a la edad de 51 meses después de la siembra. Tal como se mencionó antes, la diferencia en la altura del tronco es más evidente con la edad, cuando la competencia entre palmas va ciertamente a afectar más a los materiales DxP de semillas plantados a la densidad de 170 palmas/ha que a las palmas compactas.

La altura del tronco, largo de la hoja y el mesocarpio en el fruto resultaron ser características repetibles en los clones (r^2 , $P < 0.05$) (Cuadro 14).

Cuadro 14. Correlaciones lineares de algunas características de *ortets* compactas y sus respectivos *ramets* (*ortets* + *ramets* = clon)

| Palma | Altura del tronco (cm) | | Largo de la hoja (cm) | | Mesocarpio en el fruto (%) | |
|-----------------------|------------------------|------|-----------------------|------|----------------------------|------|
| | <i>Ortet</i> | Clon | <i>Ortet</i> | Clon | <i>Ortet</i> | Clon |
| C9255:423T | 127 | 62 | 630 | 606 | 79.1 | 75.7 |
| C9235:217T | 119 | 65 | 652 | 573 | 84.7 | 83.5 |
| C9268:135T | 176 | 80 | 579 | 524 | 80.9 | 80.7 |
| C9235:514T | 211 | 83 | 597 | 574 | 83.8 | 85.0 |
| C9268:465T | 228 | 97 | 588 | 541 | 86.8 | 84.9 |
| C9269:273T | 169 | 74 | 726 | 606 | 89.0 | 86.3 |
| C9269:367T | 147 | 64 | 575 | 539 | 82.8 | 80.7 |
| Correlación (r^2) | 0.951 | | 0.791 | | 0.904 | |
| Probabilidad | $P < 0.05$ | | $P < 0.05$ | | $P < 0.05$ | |

Por otra parte, para los parámetros de producción de racimos frescos, aceite en el mesocarpio, aceite en el racimo y aceite por hectárea, la correlación entre *ortets* y *ramets* no fue significativa. El clon más productivo (217T), tuvo una de las menores alturas del tronco (65 vs. 95 cm del testigo) y sus hojas también fueron cortas (573 vs. 646 cm del testigo). Este resultado confirma que el carácter de compacta fue efectivamente fijado, usando el método de retro-cruzamiento. Sin embargo, no todos los clones mostraron el carácter de compacta, por ejemplo el clon 465T tuvo una altura similar al testigo (97 vs. 95 cm) y consistentemente tuvo el tronco más largo en el experimento CB9702 (Cuadro 13), confirmando que este parámetro es repetible en los clones.

El hecho de no haber encontrado anomalías en el experimento CB9702 hace que la producción de clones para plantaciones comerciales sea una realidad viable. Más de 80,000 *ramets* de clones compactas han sido producidos en 2003 y se espera que en 2004 la producción sea incrementada a 350,000 *ramets*. ASD de Costa Rica (Agricultural Services & Development) produce clones a partir de inflorescencias desde el inicio del programa en 1990 (Guzmán, 1995). Hasta el momento la técnica de clonaje por inflorescencias ha sido satisfactoria y segura.

Conclusiones

1. Después de treinta años de investigación continua y tres ciclos de mejoramiento genético, fue posible fijar satisfactoriamente el carácter de compacta (tronco corto y hojas cortas) en diferentes líneas utilizando el método de retro-cruzamiento.
2. A pesar de que se desconoce qué genes determinan el carácter de compacta, los resultados alcanzados en la reproducción del fenotipo de compacta, indican que probablemente sean pocos los genes involucrados.
3. Considerando que la palma compacta fue originada de un híbrido inter-específico, es probable que los genes de compacta se originaron del ancestro *oleifera*, lo que llevó a la selección de recombinantes especiales a pesar de que la frecuencia de genes *oleifera* fue paulatinamente reducida de 25% en la palma compacta original a solamente 3.125% en el tercer ciclo de retro-cruzamiento.
4. Sin duda, las técnicas modernas de biotecnología, como el uso de marcadores moleculares, podrían haber aliviado el enorme esfuerzo puesto en el manejo de los ensayos de campo y los años gastados de investigación empleados por el uso de métodos clásicos de mejoramiento genético. Para la continuación del programa de mejoramiento genético de la palma compacta se necesita implementar técnicas de mejoramiento genético por marcadores moleculares, para lograr una selección más precisa de progenitores y *ortets* y para la reducción de los costos de investigación.
5. Tanto las nuevas variedades compactas de semillas como los clones de compactas, constituyen una buena alternativa para incrementar la densidad de siembra, con el objetivo de aumentar la productividad por hectárea. Los nuevos materiales de compacta pueden ser sembrados en densidades de 160 a 200 palmas por hectárea, dependiendo de las condiciones agroclimáticas de cada zona de cultivo en particular.

Agradecimientos y reconocimiento

Los autores desean reconocer las contribuciones del Dr. D. L. Richardson y el Ing. F. Sterling, por el diseño de la estrategia de mejoramiento genético y la selección de parentales, lo que hizo posible el desarrollo de las nuevas variedades y clones de compacta; a la Ing. Nidia Guzmán, quien hizo una realidad la producción de clones de compacta de inflorescencia; al Ing. Francisco Peralta, por sus estudios agronómicos para facilitar el uso de clones por los productores de palma de aceite y al Dr. Carlos Chinchilla por sus consejos en la revisión del manuscrito.

Literatura

- ADON B, COCHARD B, FILORY A, POTIER F, QUENCEZ P and DURAND-GASEELIN T. (2001). Introgression of slow vertical growth in improved oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) populations. In: Proc. 2001 International. Palm Oil Congress. - Agriculture, pp. 210-217, Malaysian Palm Oil Board, Kuala Lumpur
- BLAAK, G., SPARNAAIJ, L.D. AND MENEDEZ, T. (1963) Breeding and inheritance in the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) II. Methods of bunch quality analysis. J. W. Afr. Inst. Oil Palm Res. 4: 146-155.
- FASOULAS, A. (1976). Principles and methods of plant breeding. Department of Genetics and Plant Breeding. Aristotelian University of Thessaloniki - Greece. Publication No. 6, 55 pp.
- GUZMAN, N. (1995). Present status of clonal propagation of oil palm *Elaeis guineensis* Jacq. in Costa Rica by culture of immature inflorescences. ISOPOB Conference, Barranquilla, Colombia, 7-9 June, 1995.
- JAGOE, R.B. (1952) The "Dumpy" oil palm. Malay. Agric. J. 35: 12-21
- SOH, A. C. (1986). Expected yield increase with selected oil palm clones from current DxP seedling materials and its implication on clonal propagation, breeding and ortet selection. Oleagineux, 41, p. 51-56.
- SOH A., WONG G., TANG C., CHEW P., HOR T., CHONG S. & GOPAL K. (2001). Recent advances towards commercial production of elite oil palm clones. In: Proc. 2001 Int. Palm Oil Congr. Agriculture, pp. 33-44, Malaysian Palm Oil Board, Kuala Lumpur
- STERLING, F., RICHARDSON, D. L., CHAVES, C. (1991). Honeycomb and randomized block designs for selection among oil palm progenies. In: International Oil Palm Conference. Progress, Prospects & Challenges Toward 21st Century. Palm Oil Research Institute of Malaysia. Kuala Lumpur. 48-57 pp.
- STERLING, F., RICHARDSON, D., CHAVES, C. 1987. Some phenotypic characteristics of the descendants of QB049, an exceptional hybrid of oil palm. Proceedings Oil Palm/Palm Oil Conference. Progress and Prospects. Palm Oil Research Institute of Malaysia. 135-146 pp.

- OBASOLA, C. O., OBESESAN, I. O. and OPUTE, F. I. 1976 Breeding of short stemmed oil palm in Nigeria. Int. Agric. Oil Pam Conference, Kuala Lumpur, 1976.
- RAJANAIDU N., JALANI B. S., KUSHAIRI D., RAFII M.Y., MOHD DIN A., MAIZURA I., and Ariffin Daurus (1999). Breeding strategies for the oil palm materials PS1 and PS2 and future PS series. Proceedings of 1999 Seminar on PS1 and PS2 planting materials, Kuala Lumpur. pp 76-90.
- RAJANAIDU N., KUSHAIRI D., RAFII M.Y., MOHD DIN A., MAIZURA I., ISA Z.A. and JALANI B.S. (2000). Oil palm genetic resources and their utilization - a review. International Symposium on Oil Palm Genetic Resources and utilization. Eds RAJANAIDU N. and ARIFFIN D. 8-10 June 2000. Kuala Lumpur. Malaysia.
- RAO, V., SOH A.C., CORLEY, R.H.V., LEE C.H., RAJANAIDU, N., TAN Y.P., CHIN C.W., LIM K.C., TAN S.T., LEE T.P. and NGUI, M. (1983). A critical reexamination of the method of bunch quality analysis in oil palm breeding. Palm Oil Res. Inst. Malaysia. PORIM OCC. Paper 9: 1-28.