

El gusano túnel, *Stenoma cecropia* Meyrick en palma aceitera en América Central

Mexzón R.¹, Chinchilla C. Ml.²

Resumen

Las poblaciones de *Stenoma cecropia* asociadas a la palma aceitera en Centro América normalmente están bajo control por sus numerosos enemigos naturales, pero ocasionalmente se han convertido en plaga en áreas limitadas en el pasado. Esta revisión describe brevemente las defoliaciones ocurridas, así como algunas características importantes de la especie (taxonomía, anatomía, ciclo de vida, comportamiento y enemigos naturales), el potencial de causar daño económico, y las posibilidades de manejo integrado.

Introducción

Las especies de polillas de la familia Stenomidae han sido poco estudiadas en América tropical. En forma particular, *Stenoma cecropia* es quizás la especie mejor conocida y específicamente, en el cultivo de palma aceitera. Es posible que este defoliador, inicialmente encontrado en Ecuador asociado a cacao, se haya adaptado a la palma aceitera a partir de ese cultivo. En las plantaciones de palma aceitera de Colombia y de Ecuador se informa de importantes defoliaciones causadas por miembros de *Stenoma* sp. (Genty 1978).

En América Central, las primeras defoliaciones documentadas ocurrieron en 1973 en el Pacífico Central de Costa Rica, y desde entonces se han presentado incrementos poblacionales esporádicos. El objetivo del presente trabajo es resumir parte de la información disponible acerca de la biología, ecología y combate de *S. cecropia* en palma aceitera.

Taxonomía y anatomía

La familia agrupa especies de minadores y defoliadores del follaje de varios frutales. Se conocen especies asociadas a almendro, guayabo, manzana, níspero y otros frutales (Borror y White 1970). El grupo de especies es pequeño y la mayoría de las especies son poco conocidas.

El adulto de *S. cecropia* es una pequeña polilla de color marrón rojizo, que presenta un penacho de escamas marrón oscuro sobre el protórax y rodeado de escamas largas color marrón naranja (Fig. 1). El ala anterior es de forma rectangular y alargada y de color marrón con zonas de color violeta pálido; con dos líneas finas transversales formadas por escamas oscuras. El ala posterior es redondeada, con las áreas costal y discoidal de color rosado anaranjado o amarillo anaranjado

¹ Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, San Pedro, Costa Rica; 2. Consultor para ASD, cmlchinchilla@gmail.com

y gris uniforme en las áreas axilar y anal. La parte ventral del cuerpo es rosada y las patas blancuzcas. El dimorfismo sexual es poco marcado; la hembra tiene una envergadura alar de 26 a 30 mm y el macho de 23 a 25 mm (Genty 1978).



Fig. 1. *Cartucho de Stenoma cecropia y larva sacada del cartucho. Derecha. Adulto descansando sobre una hoja de una maleza en el piso de la plantación.*

El huevo es ovalado, aplanado y transparente. El corion, con cerca de 15 líneas longitudinales, está compuesto de figuras poligonales y mide entre 0.9 y 1.0 mm. La larva al nacer no tiene casi pigmentos, pero a partir del segundo estado de desarrollo, la cápsula y el protórax son de color marrón claro, y aparecen bandas longitudinales dorsales de color rojo claro en los dos últimos segmentos torácicos y en los tres primeros abdominales.

En los siguientes estados, la coloración de la cápsula cefálica y el tórax puede oscurecerse y la coloración del resto del cuerpo es café rojizo. A través de todo su desarrollo, la larva construye con secreciones y restos vegetales un cuerno o cartucho para protegerse de sus enemigos. Este envoltorio toma la forma de un “cuerno de la abundancia” conforme la larva lo agranda para acomodar el tamaño de su cuerpo (Fig. 1). Las larvas poseen tres pares de cerdas largas en los segmentos 1, 2 y 8 con función táctil que permanecen en contacto con la cubierta de seda que se extiende más allá de la abertura del túnel. Cuando la larva es disturbada se retira rápidamente hacia el interior del túnel. La pupa es del tipo obtecta; desnuda, color amarillo al inicio y luego rojo marrón.

Comportamiento

La hembra coloca los huevos sobre el folíolo, muy cerca de la vena central; al eclosionar las larvas migran debajo del mismo e inician la construcción de la cápsula o túnel, la cual aumenta en longitud y diámetro de acuerdo con el desarrollo larval, tomando una forma curvada a la manera de un cuerno de la abundancia.

Las larvas de primeros estados raspan la hoja y dejan abiertas heridas que pueden ser colonizadas por hongos del follaje como *Pestalotiopsis* spp. y otros oportunistas. Las larvas más grandes se desplazan del túnel al exterior, perforan el foliolo en las áreas previamente raspadas, y también se comen el foliolo a ambos lados de la vena central, lo cual produce una constricción o cintura característica, que puede provocar que la parte distal del foliolo se deseque (Fig. 2).



Fig. 2. Daño característico causado por *Stenoma cecropia* en el follaje de la palma aceitera. Derecha. Adulto al lado del cuerno inferior

El adulto es un insecto nocturno que permanece durante el día posado sobre la vegetación (Fig. 1). Los machos responden a la luz artificial, sin embargo las hembras no, lo cual limita la utilidad de atraer y matar los adultos en trampas de luz. De igual forma el trampeo con cebos alimentarios no es factible pues los adultos tienen las piezas bucales reducidas y no se alimentan.

El ciclo de vida tiene una duración de 58 a 67 días (Cuadro 1), sin considerar la duración de la etapa adulta que es de unos pocos días. La hembra nace con la carga completa de huevos y el macho la fertiliza; después de la cópula coloca los huevos en forma dispersa o en grupos pequeños a lo largo de la nervadura central del foliolo y poco después muere.

Daños

El daño directo lo causan las larvas al raspar el follaje y en forma indirecta al favorecer la colonización por hongos oportunistas como *Pestalotiopsis* sp. y otros que provocan la desecación del follaje. Las larvas causan numerosas perforaciones en los folíolos de forma desordenada y siempre rodeadas de áreas secas. La gran densidad de larvas por hoja, que puede ser mayor a 1000 individuos, hace que la mitad apical de las hojas queden reducidas a las nervaduras desnudas.

Las poblaciones de este defoliador presentaron incrementos en 1973, 1983, 1984, 1990, 1991, 1998 y 2004, en las plantaciones de palma aceitera en la costa Pacífica de Costa Rica. En 1973, el área afectada (Quepos) fue de 1416 ha y los daños fueron severos en 342 ha. En Quepos, nuevamente se presentaron brotes en 1990, en donde afectó 165 y 117 ha en dos áreas cercanas.

En una ocasión se contaron casi 3000 cartuchos de primeros estadíos en la hoja 17, y la defoliación fue de alrededor de 80% en muchas palmas.

En 1991, un incremento poblacional en Parrita (también en el Pacífico central) afectó 200 ha de palmas de 7 años de edad; el foco de la infestación fue de cerca de 50 ha, en donde se contaron hasta 60 larvas en la hoja 17, y se perdió aproximadamente un tercio del follaje. La plantación en cuestión había sufrido una pequeña defoliación en 50 ha el año anterior. Durante la estación lluviosa del 2004, el daño fue severo en aproximadamente 200 ha.

La hembra adulta es muy móvil, de manera que en pocas generaciones el insecto es capaz de abarcar amplias áreas de la plantación, lo cual se supone es una estrategia del insecto para escapar de sus enemigos naturales, ya que nuevas sub-poblaciones pueden desarrollarse inicialmente en áreas con pocos enemigos naturales.

Una larva requiere cerca de 60 cm² de follaje para completar su desarrollo, lo cual es relativamente poco, pero el daño se ve incrementado en primera instancia, por la presencia de hongos como *Pestalotiopsis* spp., y en segundo lugar por el comportamiento de la larva de comer a ambos lados de la vena central causando la desecación de la parte distal del folíolo. Es posible que esta conducta obedezca a una estrategia de provocar la desecación del follaje para camuflar su cubierta de algunos depredadores con gran capacidad visual como los pájaros. En el cuadro dos se resume el consumo promedio de follaje de las larvas de *S. cecropia* con el objetivo de tener una idea del número permisible de larvas/hoja antes de que causen un daño económico.

Enemigos naturales

Se conocen varias especies de avispas parasitoides, y *Rhysipolis* sp. (Braconidae) parece ser la más importante. Esta especie, que actúa como un ecto-parasitoide (se alimenta por encima de la larva), parasita a las larvas de 5° estado y se desarrollan de 3 a 8 individuos /larva. Al finalizar el desarrollo, el parásito construye celdas cilíndricas separadas por paredes cerosas a lo largo del túnel. La mortalidad causada por el parasitoide es de 7-20%.

Se menciona a *Elasmus* sp. (Elasmidae) como otro parasitoide de larvas, sin embargo no se tiene claro si ataca a la polilla como parasitoide primario o actúa como hiper-parasitoide de *Rhysipolis* sp. por medio de *S. cecropia*. La mosca tachínida *Euphocera floridensis* puede también ser un parasitoide común (Delvare y Genty 1992). En la etapa de pupa, los parasitoides *Brachymeria* sp., *B. subconica* y *Pseudobrachymeria* sp. (Chalcididae) son los más frecuentes (Genty 1989), pero en densidades de población muy bajas.

En Costa Rica, durante los brotes poblacionales de *S. cecropia* en 1990, las poblaciones fueron diezgadas por la avispa *Trichospilus diatrae* (Eulophidae). Esta avispa (165-280 individuos/pupa) causó 40% de parasitismo de las pupas (Mexzón y Chinchilla, 1996). Durante ese brote, las arañas *Gasteracantha cancriformis*, *Leucage mariana*, *Mangora* sp., *Plesioneta argyra*, una Clubionidae y dos especies de Salticidae no identificadas, se observaron depredando a las larvas y a los adultos de la mariposa (Fig. 3). Entre estas especies destacó una pequeña Salticidae de 5 a 6 mm, con el prosoma de color naranja y el opistosoma de color crema con puntos negros.

Hubo también una fuerte depredación por chinches pentatómidos de las especies *Alcaeorrhynchus grandis*, *Mormidea* sp., *Podisus* sp y *Proxys* sp. Finalmente, el ataque de hongos y otros patógenos afectó 80% de las larvas en algunas ocasiones (Fig. 4).



Fig. 3. Chinche pentatómido y Salticidae, depredadores de *Stenoma cecropia*



Fig. 4. Hongos sobre larvas de *Stenoma cecropia*

Malezas huéspedes de los enemigos naturales

Durante los incrementos poblacionales se pudo identificar algunas especies vegetales en las que se alimentaban los parasitoides de *S. cecropia*. Las avispas adultas de *Rhysipolis* sp. se han encontrado alimentándose en las glándulas extraflorales de *Cassia reticulata* (saragundí), *Cassia tora* (crotalaria), *Byttneria aculeata*, *Melanthera aspera* (paira), *Synedrella nodiflora* y *Scleria melaleuca* (navajuela), *Brachymeria* sp. en *Amarantus spinosus* (bledo), *C. tora*, *M. aspera*, *Spermacoce laevis* y las moscas tachínidas en *Chamaesyce hirta*, *S. melaleuca* y *Vitis sycioides* (uva cimarrona).

Estas especies vegetales requieren de condiciones de alta radiación solar para alcanzar una óptima eficiencia metabólica y sintetizar sustancias nutritivas que atraen a los insectos, por lo que deben ser protegidas en espacios abiertos como orillas de canales de drenaje, orillas de

caminos y espacios dentro de la plantación. La combinación de varias especies formando mosaicos vegetales incrementa su capacidad de sostener las poblaciones de avispa parasitoides.

Manejo integrado

Las pautas de manejo que han sido mencionadas para otras plagas como *Oiketicus kirbyi* y *Opsiphanes cassina* pueden también ser aplicadas para esta especie (Mexzón et al. 2003, Chinchilla 2003). El programa de manejo integrado de las principales plagas debe ser ejecutado por personal entrenado (plagueros), sin embargo en este programa debe participar todo el personal que recorre diariamente las plantaciones, para que den una voz de alerta cuando observan un número inusual de larvas en el follaje de las palmas. El aviso oportuno permite el desplazamiento del personal de control fitosanitario, el cual determinará mediante el muestreo si existe peligro de un incremento poblacional de un defoliador particular.

Una vez que se ha determinado que existe un incremento poblacional, se debe verificar el estado de las poblaciones de enemigos naturales para saber si éstos pueden disminuir la densidad poblacional del insecto plaga, o si por lo contrario se hace necesario recurrir a otro tipo de combate suplementario. El programa de manejo integrado debe considerar los siguientes elementos:

1. El muestreo del insecto plaga y de los enemigos naturales

1. Desarrollo e implementación de un método de muestreo rápido y confiable de la población de la plaga.
2. Estimación de la población de depredadores (particularmente chinches pentatómidos), parasitoides y otros enemigos naturales de la plaga.
3. Demarcación de los focos de infestación. Se debe diseñar una hoja de campo para la recolección de la información necesaria. (que debe incluir información sobre los enemigos naturales más comunes).
4. Procesamiento rápido de los datos de campo para usarlos como apoyo de las medidas de combate.

Cuando la población del insecto está bajo control, las pocas larvas encontradas se concentran en los folíolos de la porción distal de las hojas más viejas. Existe una marcada preferencia por las hojas que están orientadas hacia áreas abiertas, tales como carreteras y canales anchos. Durante el “monitoreo” rutinario, se deben incluir estas hojas necesariamente. La población de larvas en la planta puede ser estimada contando únicamente los individuos en los últimos 40 pares de folíolos de la porción distal de una hoja en posición 33 o cercana, en la filotaxia. Si se detecta un incremento inusual en la población, se puede extender el muestreo a hojas más jóvenes como la #25, en donde también se cuentan las larvas en los últimos 40 folíolos terminales.

2. Combate cultural y biológico

1. Mejorar las condiciones agronómicas del cultivo, en particular la aeración del suelo y la corrección de cualquier desequilibrio nutricional
2. Manejo de la vegetación para incrementar las poblaciones de avispas depredadoras y parasitoides (protección y siembra de especies vegetales atractivas como *Cassia tora*, *Melanthera aspera*, *Scleria melaleuca*, *Senna stenocarpoides*, *Urena lobata* y otras, en áreas vacantes y orillas de canales de drenaje). El personal de campo debe ser entrenado en la identificación y protección de estas plantas.
3. Conservación de sitios de refugio para enemigos naturales: chapia (corta mecánica de malezas) en bandas alternas en substitución de las chapias generalizadas. Se debe evitar el combate generalizado de malezas en períodos del año cuando se incrementan las poblaciones de insectos plaga.
4. Reproducción masiva y liberación de depredadores y parasitoides de ser posible.

3. Combate químico

1. Escogencia de insecticidas selectivos y aplicaciones puntuales en los focos de infestación.
2. Rotación de plaguicidas (B.t., piretroides, inhibidores de quitina, etofenprox (Tebron) y otros). En el pasado se han realizado aplicaciones aéreas con DIPEL 2L (0.5 a 0.8 kg/ha) con buenos resultados.

Literatura

- Borrer, D.J.; White, R.E. 1970. A field guide to the insects of America North of Mexico. Houghton Mifflin Co., Boston. 404 p.
- Delvare, G.; Genty, P. 1992. Interés de las plantas atractivas para la fauna auxiliar de las plantaciones de palma en América tropical. *Oléagineux* 47 (10): 551-558.
- Chinchilla, C. Ml. 2003. Manejo Integrado de Problemas Fitosanitarios en Palma Aceitera en América Central. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)*. 67: 69-82.
- Genty, P. 1978. Morfología y biología de un defoliador de la palma africana en América Latina: *Stenoma cecropia* Meyrick. *Oléagineux* 73 (8-9): 422-427.
- Genty, P. 1985. Manejo y control de las plagas de la palma aceitera. INDUPALMA. San Alberto, Bucaramanga, Colombia. 13 p. (mimeo).
- Genty, P. 1989. Manejo y control de las plagas de la palma aceitera en América tropical. Curso ASD para agrónomos y administradores de Palmas de Oriente. Colombia. 11 p. (mimeo).
- Genty, P.; Desmier de Chenon; Morin, J.P. 1978. Las plagas de la palma africana en América Latina. *Oléagineux (número especial)* 33 (7): 326-420.

- Mexzón, R.G. 1991. Vita a la División de Quepos para evaluar problemas de plagas en Marítima, Palo Seco y Coope California. Palma Tica S.A., PIPA (informe interno). 6 p.
- Mexzón, R.G.; Chinchilla, C.M. 1992. Entomofauna perjudicial, enemigos naturales y malezas útiles en palma aceitera en América Central. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) 20/21: 1-7.
- Mexzón, R.G.; Chinchilla, C.M. 1996. Enemigos naturales de los artrópodos perjudiciales a la palma aceitera (*E laeis guineensis* Jacq.) en América tropical. ASD Oil Palm Papers (Costa Rica), 13: 9-33.
- Mexzón, R., Chinchilla, C., Rodríguez, R. 2003. The bag worm, *Oiketicus kirbyi* Lands G.: a pest of the oil palm. ASD Oil Palm Papers. 25: 17-23.
- Reyes, A.; Cruz, M.A. 1986. Principales plagas de la palma aceitera en América tropical: manejo y control. Curso sobre palma aceitera. United Brands. Oil Palm Division. Costa Rica. 55p.

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 langleys/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 clonaras. 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.