

Avances en el mejoramiento genético de la palma de aceite en Centroamérica

Oil palm breeding progress in Central America

AUTOR



Amancio Alvarado
ASD (Costa Rica)
a.alvarado@asd-cr.com

Palabras CLAVE

Palma de aceite,
mejoramiento genético,
Deli Dura, híbridos OxG

Oil palm, breeding, Deli Dura,
OxG hybrids

Resumen

El mejoramiento genético de la palma aceitera en Centroamérica está ligado a la historia de la empresa United Fruit Company, responsable de su introducción y diseminación en América tropical, a finales de la década del treinta. La experiencia generada en las primeras plantaciones comerciales en Centroamérica motivó proyectos de intercambio de germoplasma de origen diverso, con instituciones de renombre en Asia y África. Varias poblaciones Dura y Ténera/Pisífera se introdujeron desde 1970 en Costa Rica, y muestras de la población Deli Dura, fuentes de polen AVROS y Ekona y progenies DxP de la población compacta, se sembraron en Honduras. Estas constituyeron la base de los programas de mejoramiento genético y producción de semillas en Centroamérica. En Costa Rica, el programa de mejoramiento genético de ASD se ha concentrado en tres áreas: el desarrollo de variedades *E. guineensis*, la selección de palmas oleífera para la producción de híbridos interespecíficos y el desarrollo de materiales compuestos o mezclas de genes de *E. guineensis* y *E. oleifera*. Esta labor ha permitido desarrollar más de 10 variedades distintas, con las cuales se han sembrado 1,2 millones de hectáreas en las principales regiones palmeras del mundo. Quizás el logro más sobresaliente del programa de ASD ha sido la consolidación de variedades y clones de alta densidad, como una alternativa para incrementar la producción por hectárea.

Abstract

Oil palm breeding in Central America is linked to the history of the United Fruit Company, responsible for the introduction and spread of oil palm in tropical America in the late thirties. The experience gained in the first commercial plantation projects in Central America led to the exchange of germplasm of different origins, with renowned institutions in Asia and Africa. Several stocks Dura and Tenera / Pisífera were intro-





duced since 1970 in Costa Rica, and samples of the Deli Dura population, sources of AVROS and Ekona pollen and compact populations of DxP progeny were planted in Honduras. These formed the basis for breeding programs and seed production in Central America. In Costa Rica, the ASD breeding program has been focused on three areas: the development of *E. guineensis* varieties, the selection of oleífera palms to produce interspecific hybrids, and the development of composite planting materials by mixing *E. guineensis* and *E. oleífera* genes. This work has allowed for the development of over 10 different varieties, now occupying about 1.2 million hectares in the main oil palm growing regions of the world. Perhaps the most outstanding achievement of the ASD program has been the consolidation of high density varieties and clones, as an alternative to increase production per hectare.



Antecedentes

La diversidad genética ha sido la principal fortaleza del programa de mejoramiento de palma aceitera de ASD Costa Rica. Su historia está estrechamente ligada a los esfuerzos de diversificación agrícola de la United Fruit Company, la cual fundó en 1926 la estación experimental de Lancetilla, cerca de la ciudad de Tela (Honduras). En esa localidad se introdujeron nuevos cultivos tropicales, incluyendo la palma de aceite, para su evaluación en Centroamérica.

La importación de semillas de la oleaginosa se inició durante la década del treinta, desde diversas regiones de Asia y África, las cuales constituyeron el material de siembra de las primeras plantaciones en la región, principalmente en Costa Rica y Honduras. La expansión posterior del cultivo fue acelerada. A finales de la década del setenta se habían establecido cerca de 12.000 hectáreas en el Pacífico de Costa Rica y 4.000 en la región Atlántica de Honduras. El uso de semillas Dura Deli de polinización abierta, provenientes del jardín botánico de Lancetilla fue común hasta 1966, aunque algunas parcelas se establecieron con semillas importadas. Después de este periodo, la proporción de semillas de polinización abierta se redujo y el material plantado pasó a ser una mezcla de semillas Deli Dura x Congo Ténera obtenidas de la plantación de San Alejo, en Honduras (Richardson, 1995).

En los años siguientes, el registro de la producción de fruta y de aceite en un ensayo con Duras Deli

de polinización abierta permitió seleccionar palmas superiores para producción de semillas. La población paterna usada en el programa de Honduras provino de Téneras derivadas de cruces DxP¹, en las que ambos padres eran de origen Yaligimba (Zaire). Estas Téneras se seleccionaron por su buena producción y características del racimo, aunque su crecimiento en altura era excesivo (Richardson, 1995).

Mejoramiento genético en Costa Rica

Los trabajos de mejoramiento genético en palma aceitera llevados a cabo por ASD se realizan en la localidad de Coto, situada en el Pacífico Sur de Costa Rica. Esta localidad muestra un clima tropical típico, con temperaturas promedio diurnas entre 22 y 35 °C, una precipitación anual por encima de los 4.000 mm y una radiación solar deficiente de menos de 360 cal/cm²/día (ideal >400 cal/cm²/día); sus suelos son de origen aluvial y poseen alta fertilidad natural. Bajo estas condiciones de cultivo, las variedades de palma de aceite estándar crecen vigorosas, con una tasa de incremento en altura promedio superior a 70 cm/año y longitud foliar promedio entre 7 y 8,5 metros. Se considera que estas condiciones son ideales para el mejoramiento genético de la palma aceitera, ya que no existen factores limitantes al cultivo, que llevarían a enmascarar la expresión de los caracteres vegetativos y del racimo. Esto es particularmente importante para la selección de variedades de alta densidad, con las

1. Cruce Dura por Pisífera

cuales se persigue la obtención de palmas de hojas cortas y crecimiento reducido del tronco.

La base del programa de mejoramiento de palma aceitera de ASD Costa Rica se relaciona con una extensa colección de germoplasma de *E. oleifera*, efectuada durante las décadas de los años 60 y 70. Esta colección se realizó en diversas regiones de Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia, Surinam y Brasil (Escobar, 1981). Cerca de 40 localidades fueron prospectadas, recolectándose más de 350 accesiones, parte de las cuales se evaluó en ensayos de progenies OxG² sembrados en 1978 (Sterling *et al.*, 1999). Esta colección se complementó con la introducción en el año 2003 de cuatro fuentes de germoplasma provenientes de la región de Taisha, en Ecuador (Tabla 1).

País de origen	Localidades	Número de accesiones
Honduras	3	43
Nicaragua	6	43
Costa Rica	7	107
Panamá	12	88
Colombia	5	41
Surinam	3	13
Brasil	7	31
Ecuador	1	4
Total	44	370

La mayor parte de esta colección de *E. oleifera* se sembró en Coto (Costa Rica), y durante la década del setenta se intercambiaron algunas accesiones de *E. oleifera* por material de *E. guineensis* provenientes de estaciones experimentales de África y Asia. Gracias a este trabajo se estableció en Costa Rica una diversa colección de *E. guineensis* con poblaciones genéticamente avanzadas.

Los materiales obtenidos mediante el programa de intercambio fueron: Dura Deli, provenientes de las

estaciones de Chemara, Harrison & Crosfield, Banting, Socfin³ y Mardil⁴ (ahora MPOB⁵) en Malasia y de Dami, Papúa Nueva Guinea; y fuentes de Pisífera Avros⁶ de Harrison & Crosfield (Malasia), Ekona de Unilever (Camerún); Ghana y Nigeria de la Estación de Kade (Ghana) y de la estación del Nifor⁷, y La Mé y Yangambi procedentes del IRHO⁸ (Costa de Marfil). Este programa de intercambio se fortaleció con la introducción de semillas de palmas silvestres de las tierras altas de Bamenda (Camerún) y Tanzania, y de varias regiones de Sierra Leona, Uganda, Zambia y Malawi (Richardson, 1995; Escobar *et al.*, 1996; Sterling y Alvarado, 2002) (Tabla 2).

El trabajo inicial de selección se concentró en la evaluación de progenies provenientes de Malasia, en la selección de las mejores fuentes de Dura Deli para la producción de semillas y en la evaluación de progenies OxG para valorar la colección de *E. oleifera*. Los resultados de esta investigación permitieron la producción de semillas de la variedad Deli x Avros en Costa Rica, usadas localmente y para exportación hasta principios de la década del 90.

Población original	Accesiones	Total de palmas
Dura Deli ilegítima	10	607
Dura Deli BPRO ¹	23	2.392
Angola	6	444
Dura/Ténera silvestre	42	1.594
AVROS	12	1,005
Ekona	14	813
La Mé	5	382
Nifor	17	1.297
URT ²	2	189
Yangambi	9	587
Compuesto	17	1.235
Total	157	10.545

1. Breeding populations of restricted origin

2. Ulu Remis Ténera

2. *E. oleifera* x *E. guineensis*

3. Societé Financiere de Caoutchouc

4. Malaysian Agricultural Research and Development Institute

5. Malaysian Palm Oil Board

6. Algemene Vereniging van Rubberplanters ter Oostkust van Sumatra

7. Nigerian Institute for Oil Palm Research, antiguo Waifor (West African Institute for Oil Palm Research)

8. Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux



Población Dura Deli

Las Duras Deli han sido las palmas por excelencia en la mayoría de los programas de producción de semillas alrededor del mundo. Se caracterizan por tener un alto porcentaje de mesocarpio en sus frutos, racimos grandes y alto contenido de aceite en sus racimos. Su principal debilidad es su estrecha base genética, ya que se acepta que todas las Deli Duras se originaron de tan solo cuatro palmas (Rosenquist, 1985). En otras palabras, la poca variabilidad genética disponible en una población como la Deli Dura hace que la magnitud de la respuesta a la selección sea baja. Por otra parte, si se acepta que la herencia de la mayoría de los caracteres de importancia en la palma de aceite es aditiva, entonces se espera que la mayor contribución genética para el desarrollo de nuevas variedades provenga de las fuentes de polen (Pisíferas o Téneras) y no de las palmas madre Dura Deli. El mejoramiento de la población de palmas madres Dura Deli en Costa Rica se puede separar en cuatro ciclos, durante los cuales se han evaluado y reproducido las poblaciones originales y se han desarrollado nuevas recombinaciones entre poblaciones distintas (Tabla 3).

Primer ciclo (1970-1980). Este fue el periodo de introducción y consolidación de las llamadas poblaciones originales provenientes de Malasia y Papúa Nueva Guinea, las cuales fueron previamente mejoradas en los centros científicos de origen. El trabajo se enfocó en su evaluación fenotípica y en la selección de las líneas y palmas superiores de los orígenes Banting y Chemara. Con base en esta primera selección se desarrolló una población F_1 , recombinando las mejores palmas dentro de cada población original, y se estableció la primera prueba de progenies.

Segundo ciclo (1981-1995). En este periodo se seleccionaron nuevas palmas de las poblaciones originales, algunas de ellas con base en los resultados de las prue-

bas de progenies, y paralelamente se realizó selección fenotípica en la población F_1 del primer ciclo. Nuevas poblaciones dura Deli F_1 y F_2 fueron establecidas y se sembró la segunda serie de pruebas de progenies, en la cual se evaluaron palmas de los orígenes Banting, Chemara, Dami y Mardi.

Tercer ciclo (1996-2003). Las evaluaciones fenotípicas y de progenies de los dos ciclos anteriores permitieron establecer un nuevo ciclo de selección de palmas Dura Deli F_1 y F_2 . La mayor parte de las familias utilizadas provinieron de autofecundaciones, con el fin de estabilizar el comportamiento de las diferentes líneas Dura Deli. En forma paralela, 225 líneas de varias poblaciones se sembraron en Indonesia, donde se llevó a cabo una observación detallada de su comportamiento fenotípico y del desempeño de sus progenies (Breure, 2002; 2006).

Cuarto ciclo (2004 al 2009). Se realizó una evaluación minuciosa del comportamiento de todas las familias Dura Deli, con base en su comportamiento fenotípico y en los resultados de la prueba de progenies establecida en Indonesia. Enseguida se inició un cuarto ciclo de selección con la siembra de autofecundaciones de Duras que incluyeron 89 palmas superiores, las cuales serán nuevamente evaluadas en una nueva prueba de progenies en Indonesia.

Breure (2006) comparó el comportamiento fenotípico de cuatro poblaciones Dura Deli de ASD, sembradas en Sumatra (Indonesia), en 1996. Las principales diferencias observadas entre ellas fueron la menor altura del tronco en los derivados Dami, y el menor desarrollo vegetativo (menor área foliar por palma) en las poblaciones Dami y Mardi. Este trabajo también mostró que la producción de fruta fresca fue similar en los cuatro grupos, pero la cantidad de aceite en el racimo fue superior en los orígenes Chemara y Mardi (Tabla 4).

Tabla 3. Número de ensayos, líneas y palmas Dura Deli sembradas en Coto (Costa Rica)

Ciclo	Año	Ensayos	Líneas	Palmas	Origen ¹
1	1968 a 1980	12	54	4,151	BM, Che, DM, MAR, SOC
2	1985 a 1992	12	72	5,075	BM, Che, DM, SOC, BM x Che, Che x MAR, Che x DM, DM x SOC
3	1996 a 2003	10	235	8,917	BM, Che, DM, MAR, SOC, BM x Che, Che x MAR, Che x DM, DM x MAR
4	2008	12	107	8,061	BM, Che, DM, MAR, SOC, BM x Che, Che x MAR, Che x DM, DM x MAR
Total		46	468	26,204	

1. BM = Banting, Che = Chemara, DM = Dami, MAR = Mardi, SOC = Socfin

Tabla 4. Resultados de la evaluación de cuatro poblaciones Dura Deli en Indonesia

Población	Total de líneas	RFF Kg	M/F %	A/M %	A/R %	ATR cm	AF m2
Dami	45	97	62.7	46.0	19.5	256	6.41
Chemara	24	97	63.3	51.0	21.5	286	6.75
H & Crosfield	8	95	64.6	47.7	20.4	289	6.84
Mardi	5	92	63.3	52.2	22.9	277	6.40
Promedio*	90	96	63.0	48.0	20.3	269	6.55
CV (%)		10.2	3.6	6.7	8.3	13.0	7.6

* El promedio general incluye todos los orígenes Dura Deli, según Breure (2006)

RFF = racimos de fruta fresca/palma/año; M/F= mesocarpio en el fruto; A/M = aceite en el mesocarpio; A/R = aceite en el racimo; ATR = altura del tronco a los 5 años de edad; AF = área foliar a los 5 años de edad; CV = coeficiente de variación

La estrategia que se siguió en Costa Rica para la selección de las poblaciones de palmas madres Dura Deli introducidas de Asia, fue la de dar énfasis al aumento de la extracción de aceite en el racimo. Los resultados de los cuatro ciclos de selección de palmas madres Deli muestran que efectivamente se logró un aumento en el contenido de aceite en el racimo, pero no en todas poblaciones. La mejor respuesta a la selección se obtuvo en la segunda generación filial (F_2) de la población Banting, con un aumento del 3,7% en el contenido de aceite, mientras que los resultados observados en las poblaciones Chemara y Socfin fueron menores (2,4 y 2,6% respectivamente), sin dejar de ser relevantes para el mejoramiento de la calidad del racimo. En las poblaciones Dami y Mardi

no se consiguió subir el contenido de aceite en la F_1 ; sin embargo es posible que los resultados sean mejores en una futura generación F_2 . Por otra parte, al combinar las poblaciones Chemara y Banting, el contenido de aceite en el racimo se mostró invariable, denotando un alto grado de pureza genética en ambas poblaciones (Tabla 5).

En general, los resultados descritos indican que futuras respuestas a la selección que sean mayores a las alcanzadas hasta hoy serán difíciles de lograr, debido a la estrecha base genética de las diferentes poblaciones Dura Deli. Sin embargo, es probable que nuevas combinaciones de las mejores Duras Deli con Duras africanas de otros orígenes como Tanzania, Bamenda y Angola permitan aumentar

Tabla 5. Contenido de aceite en el racimo y la ganancia de la selección observada en varias generaciones de Dura Deli, respecto a las poblaciones originales sembradas en Coto (Costa Rica)

Población	Líneas	Palmas	Aceite/Racimo %	Ganancia selección %
Chemara	6	354	20,4	
F_1	33	1.026	21,7	1,3
F_2	63	1,264	22,8	2,4
$F_1 \times F_2$	4	63	19,2	
Banting	3	175	18,1	
F_1	35	475	19,5	1,4
F_2	12	215	21,8	3,7
Dami	20	1.621	20,6	
F_1	116	2.387	20,4	
Mardi	1	59	23,7	
F_1	11	302	23,1	
Socfin	3	146	19,4	
F_1	13	356	22,4	3,0
F_2	1	8	22,0	2,6
Chemara x Banting				
F_1	17	524	20,1	
F_2	11	140	20,8	



el contenido de aceite en el racimo de las palmas madres de ASD.

En el año 2008, ASD sembró más de 7.000 palmas Dura Deli para realizar una nueva selección de palmas madres. Las palmas que dieron origen a esta población (cuarto ciclo) sobresalen por su alta extracción de aceite en el racimo, lo que sin duda permitirá mejorar la producción de aceite por hectárea en las nuevas plantaciones (Tabla 6).

En los párrafos anteriores se discutió el aumento del contenido de aceite en el racimo logrado en las palmas madres Dura Deli después de cuatro ciclos de selección. Recientemente, con la identificación de 89 palmas superiores cuyas progenies fueron sembradas en 2008, se intenta aumentar aún más la cantidad de aceite en sus racimos. La expectativa es disponer de una generación de palmas madre Dura Deli que tengan en promedio por lo menos 25,2% de extracción

de aceite, lo que significa un aumento promedio de 4,6%, el cual es superior a los niveles observados en las poblaciones originales y en los tres ciclos de selección anteriores (Tablas 5 y 6).

Duras africanas

El establecimiento de varias poblaciones Dura y Ténera silvestres (Tabla 2) permitió el desarrollo de nuevas líneas de palmas madres con un potencial de producción de aceite similar a las Duras Deli, pero con la posibilidad de tolerar condiciones adversas como sequía o bajas temperaturas, así como de crear nuevas combinaciones entre poblaciones.

De manera general, en ensayos de progenies la mayoría de las descendencias cuyos progenitores femeninos son de origen Bamenda, Tanzania y Angola, han mostrado alta producción de fruta, reducido desarrollo vegetativo y alto porcentaje de aceite en el racimo

Tabla 6. Palmas Dura Deli ASD seleccionadas en el año 2008 y sus diferencias en el contenido de aceite en el racimo respecto a las poblaciones originales

Población	Palmas seleccionadas	Aceite/Racimo %		
		Selección 2008	Población original	Diferencia
Chemara	39	26,1	20,4	5,7
Banting	2	25,6	18,1	7,5
Dami	18	24,4	20,6	3,8
Mardi	8	25,8	23,7	2,1
Socfin	3	24,3	19,4	4,9
Chemara x Banting	4	23,8	19,2	4,6
Chemara x Dami	3	26,3	20,5	5,8
Chemara x Mardi	7	25,8	22,0	3,8
Dami x Mardi	5	25,1	22,0	3,1
Promedio (89 palmas):		25,2	20,7	4,6

Tabla 7. Comportamiento de varias progenies DxP sembradas en 1994 en Coto (Costa Rica), en las que se evalúan Duras africanas como progenitor femenino

♀	♂	RFF Kg	ATR cm	LHJ cm	M/F %	A/M %	A/R %
Deli	AVROS	167	244	730	69,9	51,3	24,8
Bamenda	Ekona	153	150	642	72,9	47,8	24,1
Tanzania	Ekona	155	175	664	73,4	51,4	22,8
Angola	Ekona	173	204	665	71,2	48,0	21,8
Promedio		160	176	657	72,5	49,1	22,9
Bamenda	Ghana	131	156	626	61,0	42,7	18,0
Tanzania	Ghana	170	172	662	65,2	49,5	23,2
Angola	Ghana	176	201	691	65,4	52,5	25,3
Promedio		159	176	660	63,9	48,2	22,2

♀ = progenitor femenino; ♂ = progenitor masculino, RFF = racimos de fruta fresca; ATR = altura del tronco a los seis años de edad, LHJ = longitud de la hoja a los seis años de edad; M/F = mesocarpio en el fruto; A/M = aceite en el mesocarpio; A/R = aceite en el racimo

(Alvarado y Sterling, 2004) (Tabla 7). Las progenies de origen Tanzania han sobresalido, no solo por su alto contenido de aceite en el mesocarpio fresco sino también por el alto porcentaje de almendra en el racimo (Bulgarelli y Sterling, 2000).

La tolerancia a la pudrición del cogollo mostrada por los descendientes de algunas Duras africanas es otro aspecto que las hace sobresalir (Chinchilla *et al.*, 2006). Varias de estas fuentes silvestres de Duras proceden de tierras altas (800-1.200 msnm) y algunas progenies mostraron buen comportamiento al sembrarse bajo condiciones similares en Etiopía (Richardson y Chaves, 1986; Blaak y Sterling, 1996; Alvarado y Sterling, 2004).

En la actualidad, 21 familias de los orígenes Bamenda F_2 , Tanzania F_2 y Angola F_1 , se evalúan con el fin de producir una nueva generación de palmas madres, dando continuidad al programa de selección de Duras africanas. La intensa selección fenotípica efectuada hasta ahora para el nuevo ciclo de selección, promete un comportamiento superior a la población actual, sobre todo de los descendientes de origen Tanzania, que se caracterizan por su alto potencial de producción de fruta fresca y por el alto contenido de aceite en el racimo (Tabla 8).

Fuentes de polen

La producción de semillas en palma de aceite requiere, aparte de las palmas madres Dura, utilizar las palmas Pisíferas⁹, que pueden actuar únicamente como padres masculinos, ya que la mayoría de las palmas de este tipo son improductivas y solo su polen puede ser utilizado.

Las Pisíferas derivadas de la población Avros han sido el material clásico para la producción masiva de la variedad Deli x Avros en Malasia e Indonesia, la cual fue también la primera variedad lanzada al mercado por ASD en 1975. La superioridad productiva de esta fuente de polen fue ampliamente documentada por Corley (2003); los primeros resultados en Costa Rica mostraron que la fuente Avros era también superior a los derivados Ullu Remis Ténera, otra población de Pisíferas muy popular en Malasia (Richardson, 1995). Sin embargo, a pesar de que estas Pisíferas transmiten a sus progenies un alto potencial productivo, su excesivo desarrollo vegetativo ha hecho que la variedad Deli x Avros sea progresivamente sustituida por otras de crecimiento más reducido, particularmente en la América tropical.

Tabla 8. Promedios por población de algunas características de producción y crecimiento, en varios grupos de Duras africanas usadas en el programa de mejoramiento de ASD Costa Rica

Población	Siembra	Líneas	Palmas	RFF Kg	ATR cm	LHJ Cm	M/F %	A/M %	A/R %
Bamenda									
Población original	1968	9	219	nd	nd	Nd	40,5	44,3	12,5
Población F_1	1994	12	93	104,6	59	474	42,8	41,8	12,3
Seleccionadas F_1	1994	4	8	124,5	62	509	44,4	47,7	14,6
Población F_2	2006	8	1.618						
Tanzania									
Población original	1978	4	96	nd	nd	nd	55,7	50,1	20,2
Población F_1	1994	11	251	177,1	68	522	53,3	49,6	18,5
Seleccionadas F_1	1994	4	6	181,8	67	521	58,6	55,7	23,9
Población F_2	2006	8	1,053	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Angola									
Población original	1981	1	60	nd	nd	nd	59,5	47,4	17,0
Seleccionadas	1981	6	6	82,1	nd	nd	59,3	47,3	17,3
Población F_1	2004	5	350	77,7	nd	nd	55,2	46,3	18,4

nd = dato no disponible; RFF = racimos de fruta fresca; ATR = altura del tronco a los 4 años de edad, LHJ = longitud de la hoja a los 4 años de edad; M/F = Mesocarpio en el fruto; A/M = aceite en el mesocarpio; A/R = aceite en el racimo

9. La producción comercial de semilla Ténera se realiza cruzando palmas madre Dura con palmas Pisíferas.



Además de la variedad Deli x Avros, algunos programas de mejoramiento genético desarrollaron otras variedades, tales como Deli x Ghana en Kade, Ghana; Deli x Ekona, producida por Unilever, Camerún, y Deli x La Mé (IRHO, Costa de Marfil) (Sterling y Alvarado, 2002). Los resultados iniciales de la evaluación de estas variedades en ASD mostraron la fortaleza de las fuentes de polen de origen Ghana, por tener hojas de menor longitud, y Ekona por su mayor extracción de aceite (Sterling y Alvarado, 1995).

El interés por conocer el desempeño de las poblaciones Ghana y Ekona, junto a nuevas fuentes de polen, llevó a establecer ensayos TxP¹⁰ tanto en Costa Rica como en Indonesia, usando variedades de segunda y tercera generación desarrolladas por ASD (Tabla 9). Los resultados de las pruebas TxP mostraron que cuatro líneas fueron superiores a la fuente de polen Avros. En este ensayo sobresalió el alto contenido de aceite

en el racimo de la población Ghana (A/R = 31,2%), y la menor altura del tronco, a los seis años después de la siembra, de los derivados de la línea compuesta Dami (141 cm), Ekona (147 cm) y Nigeria (130cm) (Breure, 2006).

En la prueba de progenies establecida en Indonesia, los derivados comerciales DxP con Pisíferas de origen Nigeria destacaron por mostrar mayor producción de fruta y de aceite y menor altura. Los padres de origen Ghana transmitieron alta producción de aceite y hojas cortas, mientras que las Pisíferas del compuesto Dami heredaron a sus progenies alta producción de aceite y reducido desarrollo vegetativo (Breure, 2002 y 2006) (Tabla 10). Estos resultados condujeron a ASD a incrementar la producción de semillas usando las fuentes de polen Ghana y Nigeria.

El comportamiento inicial de la población Nigeria introducida a Costa Rica fue resumido por Richard-

Tabla 9. Resultados de la evaluación de cinco líneas TxP en Indonesia, para producción de polen

Origen	Líneas	RFF Kg	M/F %	A/M %	A/R %	ATR cm	AF m ²
AVROS	3	67	86,3	47,5	22,5	184	6,80
Dami compuesto	5	90	83,2	53,2	27,4	141	5,67
Ekona	5	91	81,2	55,9	25,6	147	7,34
Ghana	4	86	85,4	55,1	31,2	204	6,08
Nigeria	3	89	85,1	54,5	26,2	130	6,59
Media	20	86	83,9	53,6	26,8	160	6,48
CV (%)		11,0	3,0	3,1	3,0	28,0	12,4

RFF= racimos de fruta fresca; M/F = mesocarpio en el fruto; A/M = aceite en el mesocarpio; A/R = aceite en el racimo; ATR = altura del tronco a los 6 años de edad, AF = área foliar a los 6 años de edad (Fuente: Breure, 2006)

Tabla 10. Resultados de una prueba de progenies en Indonesia en la que se compararon siete fuentes de polen (Pisíferas)

Origen	Líneas	RFF Kg	M/F %	A/M %	A/R %	Aceite Kg/p/a	ATR cm	LR cm	AF m ²
AVROS	15	117	81,5	49,1	26,4	30,9	152	381	5,19
Yangambi	4	121	75,8	53,3	27,3	32,9	145	380	4,94
La Mé	1	116	76,4	50,5	25,5	29,6	131	390	4,79
Dami compuesto	5	118	79,7	49,6	26,2	31,1	124	358	4,57
Ekona	10	121	77,9	51,6	26,1	31,8	130	382	5,05
Ghana	9	119	78,8	51,0	27,2	32,4	147	375	4,89
Nigeria	6	127	80,0	51,6	26,9	34,2	136	379	5,32
Media	50	120	79,4	50,7	26,6	31,9	141	377	5,04
CV (%)		4,5	3,1	3,2	3,1	5,4	10,5	3,4	6,3

RFF = racimos de fruta fresca; M/F = mesocarpio en el fruto; A/M = aceite en el mesocarpio; A/R = aceite en el racimo; K/p/a = producción de aceite por palma por año, ATR = altura del tronco a los 6 años de edad, LR = largo del raquis a los 6 años de edad; AF= área foliar a los 6 años de edad;

10. Cruzamientos Ténera por Pisífera que generan 50% de Pisíferas como fuentes de polen para la producción de semillas.

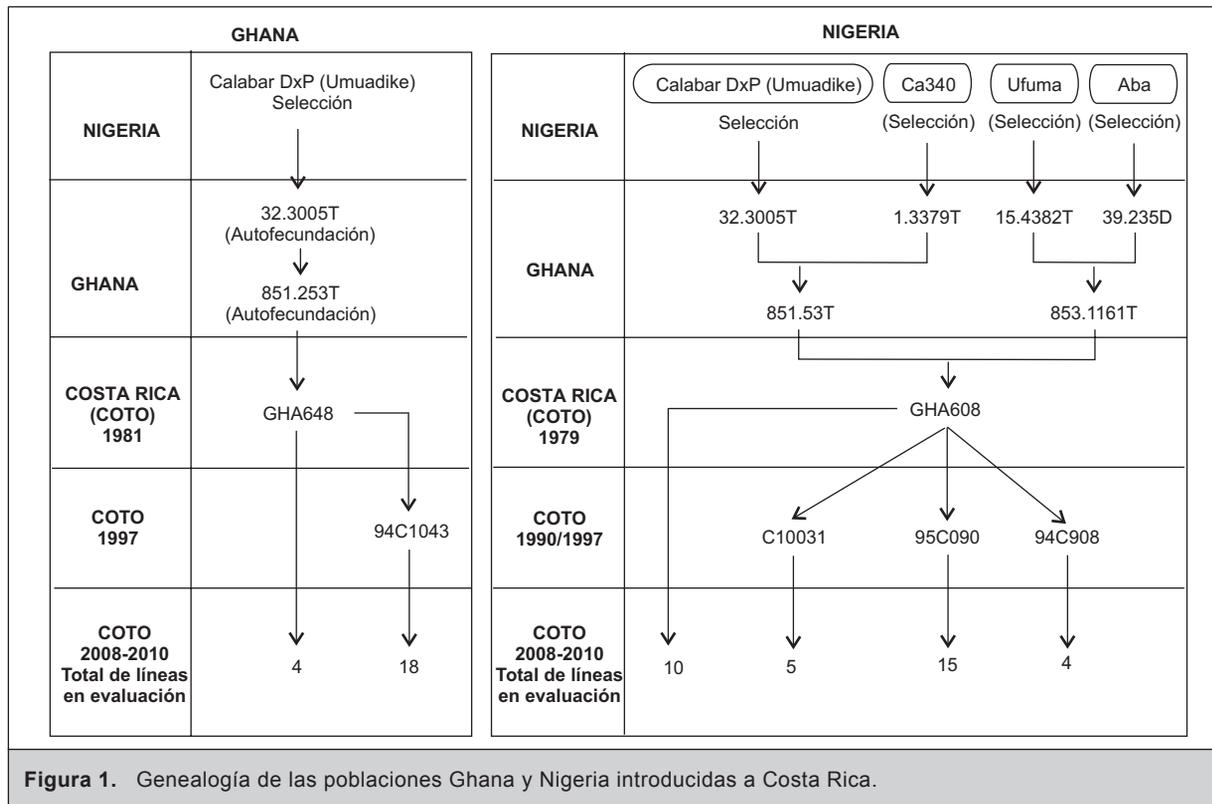


Figura 1. Genealogía de las poblaciones Ghana y Nigeria introducidas a Costa Rica.

son y Alvarado (2003), quienes destacaron su buena producción de fruta y de aceite. Los progenitores Ghana y Nigeria provienen de palmas obtenidas en varias regiones de Nigeria, descienden de las poblaciones denominadas 851 y 853 seleccionadas en la Estación de Kade, en Ghana, y fueron introducidas a Costa Rica alrededor de 1980. La población Ghana, denominada en Costa Rica GHA648, es de origen Calabar¹¹; mientras que la línea Nigeria original, GHA608, posee mayor variabilidad genética pues acarrea genes de tres poblaciones diferentes: Calabar, Ufuma¹² y Aba¹² (Figura 1).

Algunos descendientes de origen Nigeria segregan frutos de color virescens¹², característica asociada en esta particular población con alta precocidad, lo que justificó el desarrollo de un programa de mejoramiento específico. El objetivo que se persigue es seleccionar Pisíferas cuyas descendencias sean de alta producción y que el color de sus frutos sea 100% virescens. Para poder fijar el gene virescens se realizaron cruzamien-

tos Dura x Ténera (DxT¹³), que permiten evaluar el potencial productivo de las *Téneras virescens* seleccionadas.

La evaluación de progenies DxT permitirá determinar el potencial de los segregantes Ténera comerciales y al mismo tiempo constatar la pureza de los parentales con respecto al color verde de los frutos (virescens homocigota o heterocigota). Si se selecciona una palma *Ténera virescens* homocigota y de alta producción, su autofecundación permitirá obtener palmas Pisíferas para producir semillas de una variedad 100% virescens.

Los primeros resultados de la prueba de progenies sembrada en el año 2005, muestran que el rendimiento de fruta en las dos familias de la mejor palma *Ténera virescens* seleccionada supera ampliamente a la variedad testigo Deli x Avros, lo cual es una indicación de que en el corto plazo es factible desarrollar individuos DxP 100% virescens de alta producción (Tabla 11).

11. Regiones de Nigeria

12. Característica de coloración de los racimos, los cuales inmaduros son verdes y cambian a anaranjado intenso al madurar; a diferencia de los nigrescens, más comunes, los cuales son negros cuando están inmaduros y pardo rojizos al madurar; este cambio intenso en el color del fruto de los racimos virescens facilita la cosecha pues permite distinguirlos con claridad

13. Los cruzamientos genéticos DxT segregan 50% de palmas Téneras y 50% de palmas Duras



Híbridos interespecíficos OxG (*E. oleifera* x *E. guineensis*)

La colección de *E. oleifera* establecida por ASD desde 1970 (Escobar, 1981) despertó el interés de los mejoradores en Asia y África para incluir esta especie en sus programas de genética, debido a su mejor calidad de aceite (mayor contenido de ácidos grasos insaturados), a su lento crecimiento del tronco y a la resistencia a enfermedades. De esta manera, ASD logró tener acceso a materiales *guineensis* avanzados genéticamente, mediante la ejecución exitosa de programas de intercambio de germoplasma. La disposición de esta extensa colección de germoplasma de *oleifera* también permitió iniciar recientemente un programa de producción de semillas OxG, usando como fuentes de polen las poblaciones compuestas de compacta (Escobar y Alvarado, 2004; Alvarado *et al.*, 2007) y Ghana.

El uso de variedades de híbridos F₁ ha cobrado especial interés en algunas plantaciones de Latinoamérica, debido a la tolerancia que han mostrado a la pudrición del cogollo (PC). Sin embargo, su uso en plantaciones comerciales presenta ciertos inconvenientes, en especial su excesivo crecimiento vegetativo y la necesidad de polinización asistida para que sus racimos desarrollen frutos. De manera que resolver estas características negativas de los híbridos OxG es un reto en el corto plazo, para consolidar su explotación comercial.

El estudio preliminar en una parcela de observación sembrada en la zona Atlántica de Panamá mostró que varios cruces OxG de ASD de origen diverso eran altamente tolerantes a este mal (0,2% de palmas enfermas y únicamente 3,8% de muertes asociadas en su mayoría a PC), cuando se compararon con la variedad Deli x Avros (2% de incidencia y 11,1% de muertes) a los 8 años de edad. En ese mismo ensayo, una muestra de la población *oleifera* resultó prácticamente inmune a la enfermedad, lo que demuestra que los genes de resistencia a PC en los híbridos OxG provienen de las madres *oleifera* (Tabla 12; Chinchilla *et al.*, 2006).

La baja afección de PC en los híbridos OxG, más los resultados de pruebas de progenies y parcelas de observación sembradas entre 1978 y 1998, dio paso a la producción de semillas comerciales de dos variedades de híbridos OxG a finales de 2007. Uno de estos híbridos, denominado Amazon (ASD Costa Rica 2007), fue derivado de palmas madres *E. oleifera* de origen Manaos, caracterizadas por su alto contenido de aceite en el mesocarpio, las cuales fueron cruzadas con Pisíferas compactas. La segunda variedad OxG, denominada Brunca, proviene de palmas madres *E. oleifera* de Centroamérica y Colombia (Costa Rica/Panamá/Colombia) caracterizadas por su buen rendimiento de fruta fresca.

Un lote de observación del híbrido Amazon sembrado en Coto (Costa Rica), en 1993, permitió determinar

Tabla 11. Resultados de prueba de progenies para evaluar el comportamiento de progenies Deli x Nigeria virescens en Coto, Costa Rica (datos de los segregantes Ténera en las líneas DxT)

Cruce	Líneas	RFF Kg	M/F %	A/M %	A/R %	A/ha t
Deli x Nigeria D x T	12	146,7	82,5	43,9	27,2	5,8
Deli x Nigeria (mejor T) DxT	2	167,3	82,9	48,5	30,0	7,2
Deli x AVROS (testigo)		121,9	86,0	47,0	29,9	5,2

RFF = racimos de fruta fresca; M/F = mesocarpio en el fruto; A/M = aceite en el mesocarpio; A/R = aceite en el racimo; A/ha = aceite por hectárea

Tabla 12. Porcentaje de incidencia de pudriciones de flecha y del cogollo en parcelas de observación de materiales *E. oleifera* y *E. guineensis* en Changuinola, Panamá, a los 8 años de edad

Origen	Palmas	AF/PCF	PC %	Muertes
Compactas BC1 F1	781	3,1	0,1	9,9
Híbridos O x G	869	1,2	0,2	3,6
<i>E. oleifera</i>	91	0	0	2,1
Deli x AVROS	451	15,7	2	11,1
Total	2.197	4,8	0,5	7,3

AF/PCF = arqueo foliar/pudrición común de flecha; PC = Pudrición letal del Cogollo

que las características más importantes fueron su menor altura y menor longitud foliar, además sus inflorescencias femeninas quedan expuestas libres de coberturas florales en 25% durante la antesis, lo que facilita la polinización natural, en comparación con híbridos de otros orígenes en los que no se usan compactas como fuente de polen. Su longitud foliar es comparable con la de una variedad *guineensis* de siembra convencional, razón por la que se le puede plantar a la densidad de 143 palmas/ha (Tabla 13).

Por otra parte, se determinó que los racimos del híbrido Amazon se desarrollan normalmente sin necesidad de polinización asistida, cuando hay suficiente polen *guineensis* naturalmente dispersado proveniente de plantaciones vecinas. La cantidad de polen producido por las inflorescencias del híbrido fue menor que la encontrada en inflorescencias *guineensis*, 5 a 10 g contra 15 a 20 g, respectivamente, por lo que es posible que la sola presencia de polen híbrido en el ambiente no sea suficiente para una adecuada fecundación. Sin embargo, si las poblaciones de insectos polinizadores son abundantes y eficientes es posible que, a pesar de tener menos polen que *guineensis*, el híbrido Amazon pueda ser cultivado sin que requiera polinización asistida.

El híbrido Amazon, además de sus ventajosas características vegetativas, mostró un elevado rendimiento de fruta y buen rendimiento de aceite por hectárea (Tabla 14). Se espera que con la nueva selección de palmas madres *oleifera* Manaos y el uso de nuevas

Pisíferas compactas que transmiten genes de mayor contenido de aceite en el racimo, la nueva generación de Amazon posea una tasa de extracción industrial superior al 20%. Las Téneras de la nueva población compacta alcanzan un elevado contenido de aceite en el racimo de 22 a 30%, el cual se espera sea transmitido a los descendientes híbridos a través de las Pisíferas hermanas.

El híbrido Brunca fue derivado usando progenitores *guineensis* masculinos de la población Ghana. Esta variedad fue evaluada inicialmente en plantaciones semicomerciales de Ecuador, donde ha mostrado un comportamiento superior a híbridos de otros orígenes. Una de las características más interesantes del híbrido Brunca es su buena formación y maduración de los racimos, sin necesidad de realizar polinización asistida, en comparación con otros híbridos OxG. Se presume que la buena formación de los racimos del Brunca fue por la presencia de palmas *guineensis* en la vecindad; sin embargo, las pruebas de compatibilidad y cantidad de polen (en evaluación) podrán indicar si este híbrido tendrá necesidad de polinización asistida en plantaciones comerciales.

Existen nuevas alternativas para continuar con el mejoramiento genético de los híbridos OxG, procurando desarrollar variedades con un crecimiento vegetativo menor y un contenido de aceite similar a las variedades de semilla *guineensis*. El mejoramiento de las madres *oleifera* depende de la variabilidad genética existente en las poblaciones naturales o avanzadas; pero también depende de la habilidad de los mejoradores de combinar poblaciones con características distintivas, para concentrar en pocos individuos los genes que se desean; por ejemplo, reducida proporción de raquis en el racimo, < 12%; alto peso promedio del fruto, > 10 g; elevado porcentaje de mesocarpio en el fruto, > 60% y alto contenido de aceite en el racimo, > 12%.

Tabla 13. Características vegetativas del híbrido OxG Amazon compacto de primera generación a los 14 años de edad

Variedad	LHJ cm	PxS cm ²	ATR m
Híbrido Amazon	697	22,0	2,6
Deli x AVROS (<i>guineensis</i>)	704	26,7	6,9

LHJ = largo de la hoja; PxS = sección transversal del peciolo; ATR = altura del tronco

Tabla 14. Composición del racimo y potencial de producción del híbrido OxG Amazon compacto de primera generación (n = 42 palmas)

Variedad	RFF Kg	PMR Kg	NR	FF/R %	FP/R %	F/R %	M/F %	A/M %	TEI %	A/ha t
Híbrido Amazon	227,5	18,5	12,3	42,2	15,5	57,7	67,0	44,9	15,7	5,1
Deli x AVROS	174,8	21,3	8,2	68,2	2,5	70,7	87,9	47,8	24,3	6,2

RFF = racimos de fruta fresca; PMR = peso promedio del racimo; NR = número de racimos/palma/año; FF/R = frutos fértiles/racimo; FP/R = frutos partenocárpico con aceite/racimo; F/R = total de frutos/racimo; M/F = mesocarpio en el fruto; A/M = aceite en el mesocarpio; TEI = tasa de extracción industrial de aceite estimada como el % de aceite en el racimo x 0,87; A/ha = aceite/t/ha (calculado usando la tasa de extracción industrial estimada)



Tabla 15. Características del racimo de varias poblaciones *E. oleifera* evaluadas en el programa de mejoramiento de ASD

Origen	Palmas	F G	FF %	F/R %	M/F %	A/MF %	A/R %
CR/Pan/Col F ₁	364	3,1	46,0	64,2	43,9	17,4	5,8
CR/Pan/Col F ₂	79	2,9	43,7	62,5	44,5	15,8	5,2
CR/Pan/Col F ₂ sel 08	18	2,9	46,1	63,4	45,6	19,5	6,7
Taisha (Ecuador)	146	8,9	61,0	67,0	64,3	11,8	5,2
Taisha sel 2008	8	11,0	63,1	67,4	64,4	13,7	5,9
Manaos	245	11,5	16,5	33,7	43,8	28,2	5,5
Manaos F ₁	122	7,4	36,7	59,2	42,8	28,1	9,1
Manaos F ₁ sel 2008	20	7,6	43,3	62,9	44,7	31,1	10,1
Surinam	9	2,4	64,8	65,4	51,4	12,1	4,0
Coari ¹	34		nd	nd	nd	20,5	nd
Cenipalma ²	26		nd	54-69	30-55	26-43	4,4-13

Población compuesta: CR= Costa Rica; Pan = Panamá y Col = Colombia; F₁ y F₂ = generaciones filial 1 y 2; FF = fruto fértil en el racimo; F/R = fruto total en el racimo; M/F = mesocarpio en el fruto fértil; A/MF = aceite en el mesocarpio en frutos fértiles; A/R= aceite en el racimo; nd = información no disponible.

Análisis de racimos realizados a los 3-5 años en las poblaciones CR/Pan/Col F₂, Taisha y Manaos F₁; a los 8-10 años en Manaos; a los 10-12 años en CR/Pan/Col F₁

1, Corredor, J, (Palmeiras S.A.), 2008, comunicación personal

2, Rey, L, *et al*, 2004

En la Tabla 15 se resumen las características del racimo de los recursos genéticos de *E. oleifera* usados actualmente por ASD para el mejoramiento de los híbridos OxG; se destacan: el mayor peso del fruto de las palmas Taisha (9 a 11 g) y Manaos (7 a 11 g), la buena formación del racimo (61 a 63 % de fruto fértil) y el alto porcentaje de mesocarpio en el fruto (64%) en la población Taisha, y el contenido superior de aceite en racimo (9 a 10%) en las palmas de origen Manaos.

La última accesión de *oleifera* añadida a la colección de ASD fue la población Taisha, introducida del Ecuador en 2003. Además de las características mencionadas, lo interesante de estas palmas de aceite es la menor proporción de raquis en el racimo y el color virescens de sus frutos, aunque su contenido de aceite en el mesocarpio es relativamente pobre (Tabla 15).

Variedades y clones compactos de alta densidad

Los materiales compactos de ASD provienen de un programa de retrocruces iniciado hace más de 35 años a partir de un híbrido OxG de crecimiento excepcional (Sterling *et al.*, 1987). Este programa ha permitido desarrollar poblaciones con menor tasa de incremento en altura, menor longitud foliar y alta extracción de aceite. La estrategia y desarrollo de las distintas pobla-

ciones compactas, para obtener variedades y clones capaces de ser sembrados a alta densidad, se han resumido en dos publicaciones recientes (Escobar y Alvarado, 2004; Alvarado *et al.*, 2007). Los resultados de varios experimentos sembrados entre 1978 y 1991 mostraron que las características de crecimiento de los materiales compactos están reguladas por un número reducido de genes y que tienen alta heredabilidad. Es decir, la fijación del gen compacto es directa al combinarse con la mayoría de los materiales *guineensis*. Con base en este conocimiento, se logró estabilizar el crecimiento e incrementar el contenido de aceite en el racimo en las primeras generaciones de compacta. Por ejemplo, en el segundo retrocruce, RC₂, se logró conservar el crecimiento promedio observado en el primer retrocruce, RC₁ y se aumentó el porcentaje de aceite en el racimo con respecto a Deli x Avros (26,2 contra 25,6%) (Escobar y Alvarado, 2004).

Estas características se mantuvieron y mejoraron en la generación recombinante del segundo retrocruce, RC₂F₁, donde el porcentaje de aceite en el racimo alcanzó 29,8% (27,4% en Avros). A esta elevada extracción de aceite se la agrega la ventaja del reducido crecimiento en la población compacta. Sin embargo, en el tercer retrocruce (RC₃) se observó un aumento en el crecimiento vegetativo, debido a la dilución de los genes compactos por recombinación; en otras pala-

Tabla 16. Resultados promedio de varias poblaciones compactas evaluadas durante tres ciclos de retrocruces (datos de los segregantes Ténera)

Tipo	Palmas	RFF Kg	ATR cm	LHJ cm	M/F %	A/M %	A/R %	A/ha t
RC ₁	567	114,1	43,0	497,0	78,1	43,5	21,1	3,4
AVROS DxP	48	147,5	79,0	570,0	80,5	44,8	23,0	4,8
RC ₁ F ₂	530	129,0	79,0	416,0	78,3	42,6	22,5	4,2
RC ₂	2.33	152,9	53,0	497,0	82,0	47,3	26,2	5,7
AVROS DxP	561	175,1	79,0	570,0	81,5	44,9	25,6	6,4
RC ₂ F ₁	2.329	134,6	51,0	487,0	84,2	53,8	29,8	5,7
AVROS DxP	140	158,6	86,0	637,0	85,7	46,0	27,4	6,2
RC ₃	1.088	167,0	92,0	583,0	81,0	49,9	27,7	6,6
AVROS DxP	32	180,2	113,0	682,0	85,4	45,7	25,9	6,7

RC = retrocruce; F = generación filial.; RFF = kg/racimos frescos/palma/año; ATR = altura del tronco; LHJ = largo de la hoja; M/F mesocarpio en el fruto; A/M aceite en el mesocarpio; A/R = aceite en el racimo; A/ha = aceite/ha/año

bras, solo fueron necesarios dos ciclos de retrocruces para fijar el gen compacto cuya frecuencia es mayor en las subpoblaciones F₁ y F₂ (Escobar y Alvarado, 2004; Tabla 16).

La fortaleza de la población RC₁F₂ es la reducida longitud de sus hojas; aún así, se han logrado también mejoras importantes en la extracción de aceite. Es posible que de las progenies de esta población se obtengan palmas compactas capaces de producir alta cantidad de racimos cuando se siembren a alta densidad (170 o más palmas/ha) y ortets (plantas superiores para los programas de clonación) supercompactos que puedan desempeñarse bien aun a 200 palmas/ha. En relación con la población RC₂F₁, se espera que sus descendientes posean alto potencial de producción de aceite, dado que este fue el énfasis que se dio para la selección de palmas superiores compactas (Tabla 17).

En forma complementaria al mejoramiento convencional de la población compacta, ASD ha trabajado en la

investigación y reproducción de clones compactos de palma aceitera desde 1980. Durante más de 25 años se ha venido consolidando la tecnología de laboratorio, la selección de palmas superiores y el endurecimiento de los ramets (Escobar y Alvarado, 2004; Alvarado *et al.*, 2007); como resultado de este esfuerzo, en el año 2002 se inició la evaluación de los primeros clones en lotes comerciales. Se espera que la información generada en estos campos permita seleccionar los clones idóneos para el establecimiento de siembras comerciales a alta densidad.

Los datos de los primeros tres años de producción comercial en una muestra de siete lotes (250 ha), que incluyen clones con diferentes características y comportamiento, muestran que estos tienen en promedio menor rendimiento inicial que las variedades de semillas. Sin embargo, los dos mejores clones sembrados en una misma localidad que la variedad Deli x Nigeria, han mostrado alta precocidad y alta extracción de aceite (Tabla 18).

El valor esperado de los clones compactos no es solo su uniformidad y alta producción, sino también la posibilidad de poder sembrarlos a densidades mayores que la estándar de 143 plantas/ha. En un lote experimental sembrado en 2005, en el que se evalúan varias densidades, la producción del primer año en dos clones (Tornado y Fran) superó el rendimiento obtenido con la variedad de referencia (Deli x Avros). A la vez, la longitud foliar fue claramente menor en los clones, lo que hace que toleren esas mayores densidades de siembra sin que se reduzca la producción de fruta (Tabla 19).

Tabla 17. Características del racimo de palmas compactas tipo Dura (D) y Ténera (T) seleccionadas para la nueva generación sembrada en 2008

Población	Palmas	M/F %	A/M %	A/R %
RC ₁ F ₂ D	8	57,5	46,6	19,0
RC ₁ F ₂ T	6	80,8	48,5	25,8
RC ₂ F ₁ D	14	61,8	53,8	23,5
RC ₂ F ₁ T	8	86,5	53,7	30,8

RC = retrocruce; F = generación filial; M/F mesocarpio en el fruto; A/M aceite en el mesocarpio; A/R = aceite en el racimo.



Tabla 18. Producción de toneladas (t) de racimos de fruta fresca en varios lotes de clones sembrados en Coto y Palmar, Costa Rica, del 2003 al 2006

Año de cosecha	Promedio de 7 lotes (12 clones)	Mejor lote de clones en palmar (2 clones)	Deli x Nigeria (Palmar)
1	2,0	2,9	3,8
2	10,9	14,1	15,1
3	19,2	30,6	31,6
Total	32,1	47,6	50,5
TEI	-	28,4%	24,2%
Aceite/ha total		13,5 t	12,2 t

n = número de clones evaluados, TEI = Tasa de extracción de aceite estimada como % de aceite/racimo x 0,87

Tabla 19. Comportamiento de tres clones sembrados en el 2005 en Coto, Costa Rica, a diferentes densidades

Clon	Densidad (plantas/ha)	Producción en el primer año (t/ha)	Longitud foliar (36 meses)
Tornado	205	12,4	394
Tornado	235	16,3	397
Promedio		14,4	395
Fran	180	17,0	460
Fran	205	19,7	456
Promedio		18,3	458
Deli x AVROS	143	9,0	480

Cabe destacar que el gen compacto se manifiesta más claramente con el aumento en la edad de la plantación. Es decir, en palmas de menos de dos años después de la siembra, la diferencia en la longitud foliar con las variedades *guineensis* puede ser 0,2 a 1 m aproximadamente; mientras que a una edad mayor (9 años) las diferencias puede llegar a ser de 1,5 a 2 m en variedades compactas de semilla, y de 2,5 hasta 3 m en clones compactos. Lo mismo sucede con el incremento anual del tronco, ya que en palmas de 9 años edad se observa una diferencia por encima de los dos metros de altura en comparación con las variedades *guineensis* estándar.

En el corto plazo se espera que el conocimiento de los nuevos clones compactos permita explotar mejor su potencial de producción y sus características particulares, de modo que se pueda igualmente recomendar un manejo agronómico específico.

Producción de semillas y productividad en plantaciones comerciales

Los criterios usados en ASD para la selección de las palmas madres Dura Deli se basan en los resultados de

pruebas de progenies DxP, con los cuales se escogen las líneas con alta habilidad combinatoria general. La selección posterior de las palmas individuales se concentra en características del racimo de alta heredabilidad, como mesocarpio en el fruto, aceite en el mesocarpio y aceite en el fruto; y se complementa con datos de producción de racimos y crecimiento (altura del tronco y longitud foliar). Los estándares dados en Malasia por el Sirim¹⁴ (Sharma, 2006) se usan como referencia para determinar la calidad de las palmas madres (Tabla 20).

ASD usa en la actualidad una población de más de 4.000 palmas madres superiores Dura Deli, provenientes del tercer ciclo de selección. El potencial de producción de aceite de estas palmas supera los estándares establecidos por el Sirim, según se observa en la Tabla 20.

Las palmas madres *guineensis* Tanzania y las compuestas de origen compacta también superan los estándares del Sirim, mientras que las palmas madres Bamenda son deficientes en los porcentajes de mesocarpio en el fruto (M/F), aceite en el mesocarpio seco (A/Ms) y en el aceite en el racimo (A/R). Esta población,

14. Standards and Industrial Research Institute of Malaysia

Tabla 20. Características generales de producción de fruta y de composición del racimo de las diferentes poblaciones de palmas madres usadas para la producción de semillas de ASD Costa Rica (2009)

Variable	Deli	Tanzania	Bamenda	Compacta	E. oleífera		SIRIM
					Brasil	Centroamérica	
RFF	168	180	176	190	240	220	>150
R	24,0	25,7	25,2	27,2	34,3	31,5	
M/F	65,5	54,3	41,0	59,2	42,7	44,5	>55
A/M	44,2	52,3	43,2	54,2	28,2	18,5	
A/Ms	77,0	79,5	72,4	81,3	48,8	40,4	>75
A/R	20,8	19,9	12,2	23,2	9,1	6,2	>18
A/ha	5,0	5,1	3,1	6,3	3,1	1,9	
Evaluación (años):	4	5	5	3	1	1	
Palmas madres	4,000	70	20	450	120	150	

R = peso promedio racimo kg; RFF = Racimos de fruta fresca kg/palma/año ; M/F= mesocarpio en el fruto %; A/M= aceite en el mesocarpio %; A/Ms = aceite en el mesocarpio seco %; A/R = aceite en el racimo %; A/ha = aceite/t/ha

que se caracteriza por su tolerancia al frío y a enfermedades, está todavía en el primer ciclo de selección; se espera que estas características deficientes sean mejoradas pues su variabilidad genética es amplia. Las palmas madres *oleífera* poseen características del racimo por debajo de los estándares señalados, lo cual es inherente a la especie, que es inferior a *guineensis* en su capacidad de producción de aceite; sin embargo, la producción de racimos de fruta fresca es muy superior al estándar del Sirim (Tabla 20).

Entre 1986 y 2008 ASD comercializó más de 213 millones de semillas alrededor del mundo, lo cual representa la siembra de más de 1,2 millones de hectáreas. La oferta y la demanda de las variedades que ofrece ASD han sido orientadas por los resultados

observados, tanto en ensayos de progenies como en plantaciones comerciales. Deli x Avros y Deli x Ekona fueron las variedades predominantes antes del 2001; pero en años recientes se ha incrementado la producción de semillas Deli x Ghana y Deli x Nigeria, junto con nuevas variedades de origen compacto (Tabla 21).

El área total sembrada hasta el año 2008, la producción de aceite y la productividad de las plantaciones adultas, en cuatro países de Latinoamérica se muestra en la Tabla 22 (Oil World, 2009). Las plantaciones sembradas en Costa Rica fueron establecidas exclusivamente con material producido por ASD, por lo que la alta productividad reportada (4,2 t/ha de aceite) refleja el buen comportamiento general de sus variedades.

Tabla 21. Área sembrada con variedades producidas por ASD desde 1986 hasta el 2008

Variedad	Miles de hectáreas			
	América	Asia	África	Total
Deli x AVROS	160,6	280,9	0,3	441,8
Deli x Ghana	130,0	119,3	6,0	255,2
Deli x Nigeria	63,6	190,5	2,7	256,8
Deli x Ekona	70,2	47,1	0,7	118,0
Deli x La Mé	58,9	39,6	1,5	100,0
Deli x Yangambi	13,9	9,2	0,7	23,8
Compactas	34,9	14,0	0,0	48,9
Tanzania x Ekona	1,9	1,3	1,5	4,7
Bamenda x Ekona	0,8	0,5	0,7	2,0
Evolution	0,8	1,0	0,0	1,8
Otras variedades*	0,6	0,6	0,4	1,6
Total	536,2	704,1	14,4	1.254,6

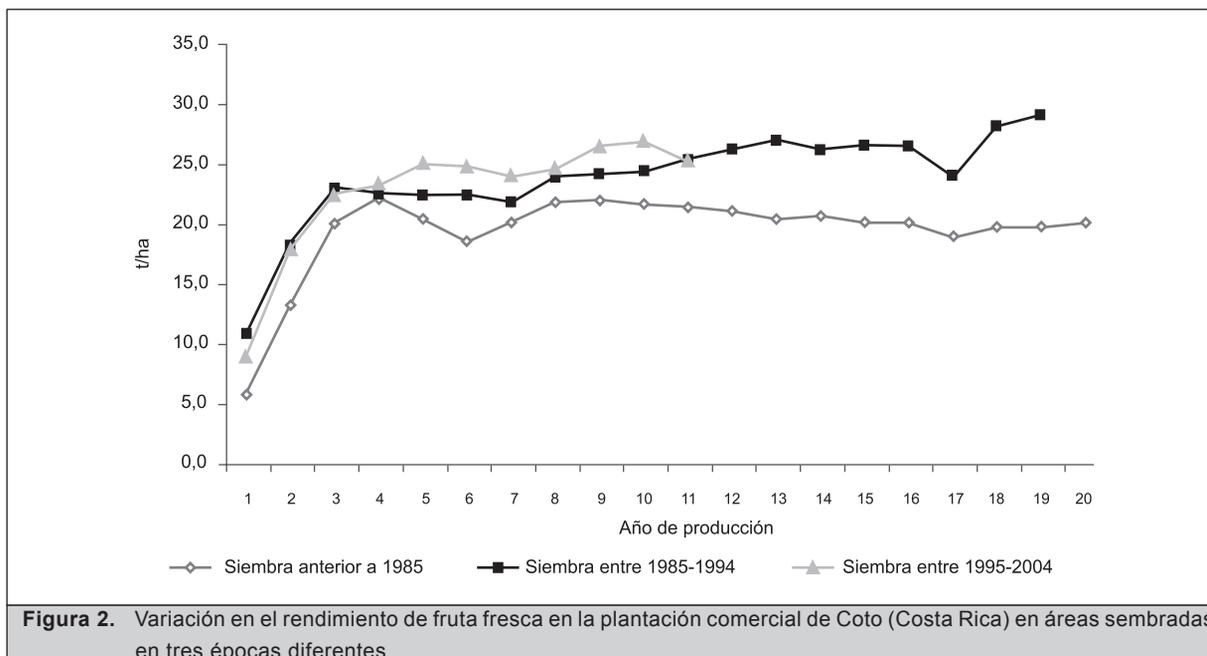
*Bamenda x Avros y Tanzania x Avros



Tabla 22. Área sembrada y producción promedio anual de aceite crudo de palma (2006–2008) en cuatro de los principales países productores de Latinoamérica

País	Área sembrada Miles de ha	Producción de aceite Miles de toneladas	t/ha
Colombia	311	742	3,7
Ecuador	223	388	1,9
Honduras	94	222	2,9
Costa Rica	55	197	4,2

Fuente: Oil World 2009; t/ha = toneladas de aceite por hectárea por año



El mejoramiento de la productividad de las variedades de ASD también se puede observar en la curva histórica de producción de una de las plantaciones comerciales de Costa Rica. La Figura 2 muestra tres curvas de producción según la época de siembra:

Plantaciones sembradas antes de 1985 (5.800 ha): Estas aún incluían materiales DxT (Dura x Ténera) sembrados antes de 1977, junto con lotes de origen Deli x Avros provenientes de las introducciones originales y de la primera selección F1.

- Plantaciones sembradas entre 1985 y 1994 (3.200 ha): Incluyen una alta proporción de palmas Deli x Avros descendientes de las dos primeras selecciones F₁; además, abarcan lotes con las nuevas variedades Deli x Ekona y Deli x Calabar (la cual corresponde a una mezcla de las actuales variedades Deli x Ghana y Deli x Nigeria). Aunque

parte del aumento en la productividad se debe al mejoramiento de las prácticas agrícolas, también contribuye el aporte de las nuevas selecciones de palmas madres y progenitores masculinos.

- Plantaciones sembradas después del año 1995 (4.700 ha): Incluyen mayor proporción de las nuevas variedades Deli x Ghana y Deli x Nigeria. Las palmas madres que originaron estas plantaciones provienen de las mejores Dura Deli sembradas después de 1990.
- Al comparar las generaciones de Avros y Calabar (Ghana + Nigeria) más recientes (1995 al 2004), con el comportamiento inicial de las nuevas variedades Ghana y Nigeria, estas últimas muestran alta precocidad y mayor productividad (Figura 3), lo cual ha motivado el aumento en la producción de semillas de estas dos variedades.

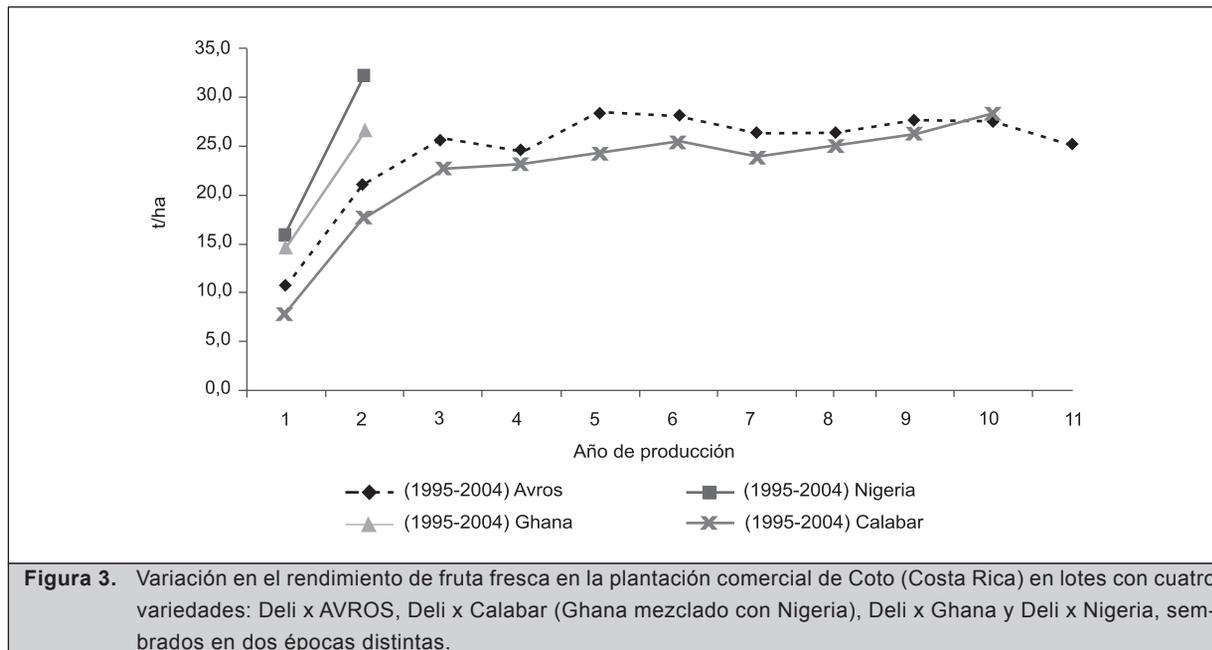


Figura 3. Variación en el rendimiento de fruta fresca en la plantación comercial de Coto (Costa Rica) en lotes con cuatro variedades: Deli x AVROS, Deli x Calabar (Ghana mezclado con Nigeria), Deli x Ghana y Deli x Nigeria, sembrados en dos épocas distintas.

Conclusiones

A lo largo de 40 años de labor en el mejoramiento de la palma aceitera, ASD ha logrado aprovechar adecuadamente sus abundantes recursos genéticos. El avance en la selección de palmas superiores en las poblaciones Dura Deli y Duras africanas, y también la evaluación de las fuentes de polen disponibles, ha permitido la producción de más de 10 variedades comerciales. Entre ellas, las nuevas variedades compactas sobresalen por su alto potencial de producción y por la posibilidad de sembrarlas a mayor densidad.

La ventaja de la alta densidad para optimizar el uso de la tierra ha sido explotada por ASD gracias a la

estabilidad del crecimiento y al aumento de la productividad de las nuevas líneas compactas. La reciente evaluación a escala comercial de los clones derivados de estas poblaciones compactas promete revolucionar la industria en el mediano plazo.

Nuevas alternativas en el desarrollo de variedades, apoyadas en programas menos convencionales con el uso de los híbridos OxG y la consolidación de materiales de siembra 100% virescens, serán un estímulo para el establecimiento de nuevas plantaciones. El potencial esperado en cuanto a producción total de aceite, tolerancia a enfermedades, facilidad y eficiencia de cosecha, son solo algunos de los avances posibles en un futuro cercano.

Bibliografía

- Alvarado, A.; Sterling, F. 2004. Desarrollo de variedades de palma de aceite para condiciones climáticas extremas. *Palmas* (Colombia) 25 (No. Especial 2): 22-31.
- Alvarado, A.; Guzmán, N.; Chinchilla, C.; Escobar, R. 2007. El programa de clonación de variedades compactas de palma aceitera por ASD de Costa Rica: realidades y potencial comercial. *Palmas* (Colombia) 28 (No. Especial 1): 256-264.

- ASD Costa Rica. 2007. Nuevo híbrido OxG Amazon. ASD. Reporte interno. 7 p.
- Blaak, G.; Sterling, F. 1996. The prospects of extending oil palm cultivation to higher elevations through using cold-tolerant plant material. *The Planter* (Kuala Lumpur). 72: 645-652.
- Breure, K. 2002. Preliminary results of performances of ASD's genetic material at Bina Sawit Makmur in South Sumatra. In 2002 Int. Oil





- Palm Conf and Exhibition – Chemistry, Technology & Economics, Nusa Dua, Bali, Indonesia, July 8-12, 2002.
- Breure, C.J. 2006. Performance of ASD's oil palm parent material in South Sumatra. The search for elite planting material for Indonesia. *ASD Oil Palm Papers* 29: 19-30.
- Bulgarelli, J.; Sterling, F. 2000. Kernel content and income in oil palm. *ASD Oil Palm Papers* 21: 13-15.
- Chinchilla, C.; Alvarado, A.; Albertazzi, H.; Torres, R. 2006. Tolerancia y resistencia a las pudriciones del cogollo en fuentes de diferente origen de *Elaeis guineensis*. *Palmas* (Colombia) 28 (No. Especial): 273-284.
- Coreley, R.H.V.; Tinker, P.B. 2003. The Oil Palm. IV ed. Oxford, Blackwell Publishing Co. 562 p.
- Escobar, R. 1981. Preliminary results of the collection and evaluation of the American oil palm (*Elaeis oleifera* HBK Cortes) in Costa Rica. Proc Int Conf on Oil Palm in Agriculture in the Eighties. Kuala Lumpur, 17-20 June, 1981. The Incorporated Society of Planters, pp 79-97.
- Escobar, R.; Alvarado, A. 2004. Strategies in production of oil palm compact seeds and clones. *ASD Oil Palm Papers* 27:1-12.
- Escobar, R.; Sterling, F.; Peralta, F. 1996. Oil palm planting materials by ASD de Costa Rica. *ASD Oil Palm Papers* 14: 1-12.
- Oil World. 2009. Oil World Annual 2009.
- Rey, L.; Gómez, P.; Ayala, I.; Delgado, W.; Rocha, P. 2004. Colecciones genéticas de palmas de aceite *Elaeis guineensis* (Jacq.) y *Elaeis oleifera* (H.B.K.) de Cenipalma: Características de importancia para el sector palmicultor. *Palmas* (Colombia) 25 (No. Especial, Tomo II): 39-48.
- Richardson, D.L. 1995. The history of oil palm breeding in the United Fruit Company. *ASD Oil Palm Papers* 11: 1-22.
- Richardson, D.L.; Alvarado, A. 2003. ASD oil palm germplasm from Nigeria. *ASD Oil Palm Papers* 26: 1-32.
- Rihardson, D.L.; Chaves, C. 1986. Oil palm germplasm of Tanzanian origin. Turrialba (Costa Rica). 36(4):493-498.
- Rosenquist, E.A. 1985. The genetic base of oil palm breeding populations. Proceedings of the International Workshop on Oil Palm Germplasm and Utilization. p 27-59.
- Sharma, M. 2006. Performance of oil palm planting materials from DxP and clonal seeds at United Plantations Bhd. Seminar on Sourcing Oil Palm Planting Materials for Local-Overseas Joint Ventures and Nursery management, ASGARD Information Services, Kuala Lumpur, 23-24 August 2007.
- Sterling, F.; Alvarado, A. 1995. Ekona y Calabar como fuentes alternativas de progenitores masculinos en la producción de semillas de palmas aceitera. *ASD Oil Palm Papers* 11: 23-32.
- Sterling, F.; Alvarado, A. 2002. Historical account of ASD's oil palm germplasm collections. *ASD Oil Palm Papers* 24: 1-16.
- Sterling, F.; Richardson, D.L.; Alvarado, A.; Montoya, C.; Chaves, C. 1999. Performance of OxG *E. oleifera* Central American and Colombian biotype x *E. guineensis* interspecific hybrids. Proc. of the seminar on worldwide performance of DxP oil palm planting materials. clones and interspecific hybrids. Ed by Rajanaidu N and Jalani BS. Palm Oil Research Institute of Malaysia. Pp. 114-127.
- Sterling, F.; Richardson, D.L.; Chaves, C. 1987. Some phenotypic characteristics of the descendants of QB049, an exceptional hybrid of oil palm. Proc Oil Palm/Palm Oil Conference, Progress and Prospects. Palm Oil Research Institute of Malaysia. Pp. 135-146.