

## El programa de mejoramiento genético de la palma de aceite de ASD Costa Rica y su contribución a la industria

Alvarado A.,<sup>1</sup> Escobar R. y Peralta F.

### Resumen

El mejoramiento genético de la palma aceitera en Centro América está ligado a la historia de la United Fruit Company; la cual fue responsable de la introducción y diseminación de esta especie en América tropical a finales de los años 1930. La experiencia generada en las primeras plantaciones comerciales en Centro América motivó proyectos de intercambio de germoplasma de origen diverso con instituciones reconocidas de mejoramiento genético en Asia y África. Varias poblaciones *dura* y *ténera/pisífera* se introdujeron a Costa Rica desde el año 1970, y algunas muestras de la población Deli *dura*, fuentes de polen (AVROS y Ekona) y progenies DxP de la población compacta fueron posteriormente plantadas en Honduras. Estas poblaciones originales constituyeron la base de los programas de mejoramiento genético y producción de semillas en Centro América.

En Costa Rica, el programa de mejoramiento genético de ASD (Agricultural Services & Development) se ha concentrado en tres áreas principales: i) el desarrollo de variedades *E. guineensis*, ii) la selección de palmas *oleífera* para la producción de híbridos interespecíficos y iii) el desarrollo de materiales compuestos o mezclas de genes de *E. guineensis* y *E. oleífera*, más conocidos como variedades para siembra a alta densidad. Esta labor, iniciada hace cuatro décadas, ha permitido desarrollar más de diez variedades de semilla distintas, con las cuales se han sembrado cerca de 1.2 millones de hectáreas en las principales regiones palmeras alrededor 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 unidad de área. Otros avances importantes han sido el desarrollo de variedades tolerantes a estrés causado por bajas temperaturas, déficit hídrico y pudriciones severas del cogollo; las cuales permitirán en un futuro cercano ampliar la frontera agrícola del cultivo.

### Antecedentes

La diversidad genética disponible ha sido la principal fortaleza del programa de mejoramiento de la palma aceitera en ASD Costa Rica. La historia de este programa está estrechamente ligada con 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 aceitera, para su evaluación en Centro América.

La introducción de semillas de palma aceitera desde diversas regiones de Asia y África, se inició durante la década de los treinta. Estas semillas constituyeron el material de siembra de las primeras plantaciones en la región, principalmente en Costa Rica y Honduras. La expansión

---

<sup>1</sup> ASD Costa Rica, Mejoramiento Genético, a.alvarado@asd-cr.com

posterior del cultivo fue acelerada, y a finales de la década de 1970 ya se habían establecido cerca de 12,000 ha en el Pacífico de Costa Rica y 4,000 ha en la región Atlántica de Honduras. El uso comercial de semillas *dura* Deli de polinización abierta, provenientes del jardín botánico de Lancetilla, Honduras, fue común hasta 1966; aunque también se importó semilla para la siembra de algunas parcelas. Después de este periodo, la proporción de semillas de polinización abierta se redujo y el material de siembra pasó a ser una mezcla de semillas dura Deli x *ténera* Congo producidas en la plantación de San Alejo, Honduras (Richardson 1995).

Posteriormente, se plantaron experimentos para empezar a seleccionar palmas *duras* Deli para la producción local de semilla. La población paterna usada en el programa de Honduras provino de *téneras* derivadas de cruces DxP, en donde ambos padres eran de origen Yaligimba, Zaire. Estas *téneras* se seleccionaron por su alta producción y buenas características del racimo, aunque el crecimiento del tronco era excesivo (Richardson 1995).

### **Mejoramiento genético en ASD Costa Rica**

Los trabajos de ASD en el mejoramiento genético en palma aceitera se realizan en la localidad de Coto, situada en el Pacífico Sur de Costa Rica. Esta región tiene un clima tropical típico, con temperaturas diurnas promedio entre 22 y 35°C, una precipitación anual normalmente superior a 4000 mm, y una radiación solar más bien deficiente (menor a 360 cal/cm<sup>2</sup>/día (ideal >400 cal/cm<sup>2</sup>/día); sus suelos son de origen aluvial y poseen buena fertilidad natural. En estas condiciones, las variedades tradicionales de palma aceitera crecen vigorosamente, con una tasa promedio de incremento en altura del tronco de más de 70 cm/año, y una longitud foliar promedio cercana a 8.5 m. Se considera que estas condiciones son buenas para el mejoramiento genético de la palma aceitera, ya que no existen factores que puedan enmascarar la expresión de los caracteres vegetativos y del racimo. Esto es particularmente importante para la selección de variedades de alta densidad, con las cuales se persigue obtener palmas de hojas cortas y crecimiento reducido del tronco.

La mayor fortaleza del programa de mejoramiento de ASD Costa Rica es una amplia colección de germoplasma de *E. guineensis* y *E. oleifera*. La colección de genes de *E. oleifera* se realizó durante las décadas de los 60 y 70, con introducciones de diversas regiones de Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia, Surinam y Brasil (Escobar 1981). Cerca de 40 sitios fueron explorados, recolectándose más de 350 accesiones, parte de las cuales fueron evaluadas en ensayos de progenies OxG 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, Ecuador (Cuadro 1). La mayor parte de esta colección de *E.oleifera* se sembró en la localidad de Coto.

Durante la década del 70 se intercambiaron algunas accesiones de *E. oleifera* por material de *E. guineensis* provenientes de algunas 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: i) *duras Deli* provenientes de las estaciones de Chemara, Harrison & Crosfield, Banting, SOCFIN y MARDI (ahora MPOB) en Malasia y de Dami, Papúa Nueva Guinea; y ii) fuentes de *pisifera* AVROS de Harrison & Crosfield (Malasia), Ekona de Unilever

(Camerún); Ghana y Nigeria de la Estación de Kade (Ghana) y de la estación del NIFOR, y La Mé y Yangambi procedentes del IRHO (Costa de Marfil).

**Cuadro 1.** Germoplasma de *E. oleifera* sembrado en la estación Coto, Costa Rica, entre 1970 y 2004

<i>Origen</i>	<i>Localidades</i>	<i>Número de accesiones</i>
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

El material obtenido a través de este programa de intercambio se complementó con la introducción de materiales 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 (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Germoplasma de *E. guineensis* sembrado en la estación de Coto, Costa Rica, entre 1970 y 1996

<i>Población original</i>	<i>Accesiones</i>	<i>Número de palmas</i>
<i>Dura Deli</i> (ilegítima)	10	607
<i>Dura Deli</i> BPRO <sup>1</sup>	23	2392
Angola	6	444
<i>Dura/tenera</i> (silvestre)	42	1594
AVROS	12	1005
Ekona	14	813
La Mé	5	382
NIFOR	17	1297
URT <sup>2</sup>	2	189
Yangambi	9	587
Compuesto	17	1235
<i>Total</i>	<i>157</i>	<i>10545</i>
<i>Breeding populations of restricted origin</i>		
<i>Ulu Remis ténera</i>		

El trabajo inicial se enfocó en la evaluación de progenies provenientes de Malasia para seleccionar 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*. Con base en los resultados, se inició la

producción de semillas de la variedad Deli x AVROS en Costa Rica. Esta variedad fue muy popular en Costa Rica y varios países de Centro y Sudamérica hasta principios de la década del 90.

### **Población *Dura* Deli**

Las *duras* Deli han sido las palmas escogidas como progenitores femeninos por la mayoría de los programas de producción de semillas alrededor del mundo. Estas se caracterizan por tener alto porcentaje de mesocarpio en sus frutos, racimos grandes y alto contenido de aceite en sus racimos. Su principal debilidad es una estrecha base genética, ya que se acepta que todas las *duras* Deli se originaron de tan solo cuatro palmas (Rosenquist 1985). Esta escasa poca variabilidad genética de la población *dura* Deli hace que la magnitud de la respuesta a la selección de algunos caracteres sea baja.

Por otra parte, si se acepta que la herencia de la mayoría de los caracteres de importancia en la palma aceitera 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 o periodos, durante los cuales se han evaluado y reproducido las poblaciones originales y se han desarrollado nuevas recombinaciones entre poblaciones distintas (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Número de ensayos, líneas y palmas *dura* Deli sembradas en Coto, Costa Rica

<i>Ciclo</i>	<i>Año</i>	<i>Ensayos</i>	<i>Líneas</i>	<i>Palmas</i>	<i>Origen</i> <sup>1</sup>
1	1968-1980	12	54	4,151	BM, CHE, DM, MAR, SOC
2	1985-1992	12	72	5,075	BM, CHE, DM, SOC, BM x CHE, CHE x MAR, CHE x DM, DM x SOC
3	1996-2003	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
<b>Total</b>		<b>46</b>	<b>468</b>	<b>26,204</b>	

1. BM = Banting, CHE = Chemara, DM = Dami, MAR = Mardi, SOC = SOCFIN

**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 de investigación de origen. El trabajo se enfocó en la 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<sub>1</sub>, recombinando las

mejores palmas dentro de cada población original, y se estableció la primera prueba de progenies.

**Segundo ciclo (1981 - 1995).** En ese periodo se seleccionaron nuevas palmas de las poblaciones originales, algunas de ellas con base en los resultados de las pruebas de progenies, y paralelamente se realizó selección fenotípica en la población F<sub>1</sub> del primer ciclo. Nuevas poblaciones *dura* Deli F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub> fueron establecidas y se sembró la segunda serie de pruebas de progenies, en la que 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<sub>1</sub> y F<sub>2</sub>. La mayor parte de las familias utilizadas provenían 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 - 2009).** Comprende la evaluación minuciosa del comportamiento de todas las familias *dura* Deli con base en su expresión fenotípica, y en los resultados de la prueba de progenies establecida en Indonesia. 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 prueba de progenies en Indonesia.

Breure (2006) comparó el comportamiento fenotípico de cuatro poblaciones *dura* Deli de ASD sembradas en Sumatra, Indonesia, en 1996. Los derivados Dami mostraron menor altura del tronco y las poblaciones Dami y MARDI tenían menor área foliar. La producción de fruta fue similar en los cuatro grupos, pero la cantidad de aceite en el racimo fue superior en los orígenes Chemara y MARDI (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Características de cuatro poblaciones *dura* Deli plantadas en Indonesia

Población	Líneas	RFF (kg)	M/F (%)	A/M (%)	A/R (%)	ATR (cm)	AF (m <sup>2</sup> )
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
<b>Promedio*</b>	<b>90</b>	<b>96</b>	<b>63.0</b>	<b>48.0</b>	<b>20.3</b>	<b>269</b>	<b>6.55</b>
CV (%)		10.2	3.6	6.7	8.3	13.0	7.6

\* RFF = racimos de fruta fresca/palma/año (promedio de primeros 6 años); 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

Las palmas madre *dura* Deli introducidas desde Asia fueron seleccionadas en Costa Rica con base a su contenido de aceite, lo cual se logró a través de cuatro ciclos de selección en algunas de las poblaciones. El mayor progreso se obtuvo en la segunda generación filial (F<sub>2</sub>) de la población Banting, alcanzándose un aumento de 3.7% en el contenido de aceite; mientras que los aumentos en las poblaciones Chemara y Socfin fueron menores, aunque también importantes (2.4% y 2.6%, respectivamente). En las poblaciones Dami y Mardi no se logró aumentar el contenido de aceite en la F<sub>1</sub>, pero es posible que este mejore en una futura generación F<sub>2</sub>. Por otra parte, al combinar las poblaciones Chemara y Banting, el contenido de aceite en el racimo fue invariable, denotando un alto grado de pureza genética en ambas poblaciones (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Contenido de aceite en el racimo y ganancia por selección observada en varias generaciones de *dura* Deli, respecto a las poblaciones originales. Coto, Costa Rica

<i>Población</i>	<i>Líneas</i>	<i>Palmas</i>	<i>Aceite/racimo (%)</i>	<i>Ganancia en selección (%)</i>
<b>Chemara</b>	<b>6</b>	<b>354</b>	<b>20,4</b>	
F1	33	1026	21,7	1,3
F2	63	1264	22,8	2,4
F1 x F2	4	63	19,2	
<b>Banting</b>	<b>3</b>	<b>175</b>	<b>18,1</b>	
F1	35	475	19,5	1,4
F2	12	215	21,8	3,7
<b>Dami</b>	<b>20</b>	<b>1621</b>	<b>20,6</b>	
F1	116	2387	20,4	
Mardi	1	59	23,7	
F1	11	302	23,1	
<b>Socfin</b>	<b>3</b>	<b>146</b>	<b>19,4</b>	
F1	13	356	22,4	3,0
F2	1	8	22,0	2,6
<b>Chemara x Banting</b>				
F1	17	524	20,1	
F2	11	140	20,8	

En general, se puede argumentar que se está cerca del techo en cuanto a contenido de aceite en estas poblaciones *dura* Deli debido a su estrecha base genética. No obstante, es posible que nuevas combinaciones de las mejores palmas con duras africanas de otros orígenes como Tanzania, Bamenda y Angola permitan continuar aumentando el contenido de aceite en el racimo.

En el 2008 se sembraron más de 7000 palmas *dura* Deli para la selección de nuevas madres. Las palmas que dieron origen a esta población (cuarto ciclo) se destacan por su alto contenido de aceite en el racimo ( Cuadro 6). Sobresalen 89 palmas superiores cuyas progenies fueron sembradas también en el 2008, con el objetivo de continuar aumentando la cantidad de aceite en sus racimos. La expectativa es disponer de una generación de palmas madres *dura* Deli con un promedio no menor que 25.2 % de aceite; lo que corresponde a un aumento promedio de 4.6 %,

que es superior a los datos obtenidos en las poblaciones originales y en los tres ciclos de selección anteriores (Cuadros 5 y 6).

**Cuadro 6.** Palmas *dura* Deli ASD seleccionadas en el 2008 y sus diferencias en el contenido de aceite en el racimo respecto a las poblaciones originales

<i>Población<sup>1</sup></i>	<i>Palmas</i>	<i>Aceite / racimo</i>		
		<i>Selección 2008</i>	<i>Población original</i>	<i>Diferencia</i>
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
Che x Ban	4	23.8	19.2	4.6
Chem x Dam	3	26.3	20.5	5.8
Chem x Mar	7	25.8	22.0	3.8
Dam x Mar	5	25.1	22.0	3.1
<b><i>Promedio (89 palmas)</i></b>		<b>25.2</b>	<b>20.7</b>	<b>4.6</b>

1. *Che.*: Chemara, *Ban.*: Banting, *Mar.*: Mardi, *Dam.*: Dami

### ***Duras de África***

Algunas poblaciones *dura* y *ténera* silvestres (Cuadro 2) con un potencial de producción de aceite similar a las *duras Deli*, han permitido el desarrollo de nuevas líneas de palmas madres que pueden ser usadas en nuevas combinaciones. Estos materiales también han mostrado tolerancia a estrés ambiental, tales como déficit hídrico y bajas temperaturas. 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 (Alvarado y Sterling 2004) (Cuadro 7). Las progenies de origen Tanzania han sobresalido, no solo por su alto contenido de aceite en el mesocarpio, sino también por el alto porcentaje de almendra en el racimo (Bulgarelli y Sterling 2000).

La aparente tolerancia a la pudrición del cogollo mostrada por los descendientes de algunas *duras* africanas es un aspecto importante (Chinchilla et al. 2006). Varias de estas fuentes silvestres de *duras* proceden de tierras altas (800-1,200 msnm) y algunas progenies han mostrado

un buen comportamiento productivo en condiciones similares en Etiopía (Richardson y Chaves 1986, Blaak y Sterling 1996, Alvarado y Sterling 2004).

**Cuadro 7.** Características de varias progenies DxP cuyos progenitores femeninos son *duras* africanas. Coto, Costa Rica, siembra en 1994

Hembra	Macho	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
<b>Promedio</b>		<b>160</b>	<b>176</b>	<b>657</b>	<b>72.5</b>	<b>49.1</b>	<b>22.9</b>
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
<b>Promedio</b>		<b>159</b>	<b>176</b>	<b>660</b>	<b>63.9</b>	<b>48.2</b>	<b>22.2</b>

Hembra: progenitor femenino; Macho = progenitor masculino, RFF = racimos de fruta fresca (promedio de 4 primeros años); 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

Actualmente, 21 familias de los orígenes Bamenda F<sub>2</sub>, Tanzania F<sub>2</sub> y Angola F<sub>1</sub>, se evalúan con el fin de producir una nueva generación de palmas madres. La intensa selección fenotípica efectuada hasta ahora para el nuevo ciclo de selección, promete un comportamiento superior a la población anterior, sobretodo de los descendientes de origen Tanzania, que se caracterizan por su alto potencial de producción de fruta y por el alto contenido de aceite en el racimo (Cuadro 8).

### Fuentes de polen

Además de palmas madres dura para la producción comercial de semillas de palma aceitera, se requiere de palmas pisífera ; las cuales pueden ser usadas únicamente como progenitores masculinos, ya que sus frutos por lo general no logran madurar.

Las *pisíferas* derivadas de la población AVROS se han usado tradicionalmente para la producción comercial de la variedad Deli x AVROS en Malasia e Indonesia, y también por ASD en Costa Rica, al menos entre 1975 y 1992. La superioridad productiva de esta fuente de polen fue documentada por Corley (2003). En Costa Rica, AVROS también mostró superioridad sobre los derivados Ulu Remis ténera, otra población de *pisíferas* muy popular en Malasia (Richardson 1995). Sin embargo, a pesar de que estas pisíferas transmiten a sus progenies alto potencial productivo, su excesivo desarrollo vegetativo ha hecho que la variedad Deli x AVROS esté

siendo progresivamente sustituida por otras de crecimiento más reducido, particularmente en América tropical.

**Cuadro 8.** Características de producción y crecimiento en varios grupos de *duras* africanas

<i>Población</i>	<i>Siembra</i>	<i>Líneas</i>	<i>Palmas</i>	<i>RFF</i> (kg)	<i>ATR</i> (cm)	<i>LHJ</i> (cm)	<i>M/F</i> (%)	<i>A/M</i> (%)	<i>A/R</i> (%)
<b>Bamenda</b>									
Población original	1968	9	219	nd	nd	nd	40.5	44.3	12.5
Población F <sub>1</sub>	1994	12	93	104.6	59	474	42.8	41.8	12.3
Seleccionadas F <sub>1</sub>	1994	4	8	124.5	62	509	44.4	47.7	14.6
Población F <sub>2</sub>	2006	8	1,618						
<b>Tanzania</b>									
Población original	1978	4	96	nd	nd	nd	55.7	50.1	20.2
Población F <sub>1</sub>	1994	11	251	177.1	68	522	53.3	49.6	18.5
Seleccionadas F <sub>1</sub>	1994	4	6	181.8	67	521	58.6	55.7	23.9
Población F <sub>2</sub>	2006	8	1,053	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<b>Angola</b>									
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 <sub>1</sub>	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(4 años), LHJ = largo de la hoja (4 años); M/F = mesocarpio en fruta; A/M = aceite en mesocarpio; A/R = aceite en racimo.

Además de la variedad Deli x AVROS, algunos programas de mejoramiento genético desarrollaron otras como Deli x Ghana (Kade, Ghana); Deli x Ekona (Unilever, Camerún) y Deli x La Mé (IRHO, Costa de Marfil) (Sterling y Alvarado 2002). De acuerdo con los resultados iniciales de la evaluación de estas variedades en ASD, se destacan las fuentes de polen de origen Ghana, por tener hojas de menor longitud, y Ekona, por su mayor contenido de aceite (Sterling y Alvarado 1995).

Para conocer mejor el desempeño de las poblaciones Ghana y Ekona, junto con nuevas fuentes de polen, se establecieron pruebas TxP en Costa Rica e Indonesia, usando variedades de segunda y tercera generación desarrolladas por ASD (Cuadro 9). Cuatro líneas fueron superiores a la fuente de polen AVROS, y Ghana se destacó por su alto contenido de aceite en el racimo (31.2 %). De igual manera, los derivados de Ekona y Nigeria y de la línea compuesta Dami, se destacaron por la menor altura del tronco a los seis años de edad (141, 147 y 130 cm respectivamente) (Breure 2006).

En la prueba de progenies en Indonesia, los derivados comerciales DxP con *pisíferas* de origen Nigeria destacaron por su alta 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) (Cuadro 10). Estos resultados condujeron a ASD a incrementar la producción de semillas usando principalmente las fuentes de polen Ghana y Nigeria.

**Cuadro 9.** Características de cinco líneas TxP evaluadas en Indonesia como fuentes de polen

Origen	Líneas	RFF (kg)	M/F (%)	A/M (%)	A/R (%)	ATR (%)	AF (m <sup>2</sup> )
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 (promedio de los primeros 4 años); M/F = mesocarpio en el fruto; A/M = aceite en el mesocarpio; A/R = aceite en el racimo; ATR = altura del tronco a los seis años de edad, AF = área foliar a los seis años de edad (Breure 2006)*

Richardson y Alvarado (2003) destacan los buenos rendimientos de fruta y aceite de la población Nigeria originalmente introducida a Costa Rica. 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 que fueron introducidas a Costa Rica alrededor de 1980. La población Ghana, denominada en Costa Rica GHA648, es de origen Calabar ; mientras que la línea Nigeria original, GHA608, posee mayor variabilidad genética, pues acarrea genes de tres poblaciones diferentes: Calabar, Ufuma15 y Aba15 (Fig. 1).

Debido a que algunos descendientes de origen Nigeria segregan frutos de color *virescens*, y a que dicha característica está asociada con alta precocidad; en ASD se justificó el desarrollo de un programa de mejoramiento específico con el objetivo de obtener *pisíferas* cuyas descendencias sean de alta producción y que el color de sus frutos sea 100 % *virescens*. Para poder fijar el gen *virescens*, se realizaron cruzamientos *dura* x *ténera* (DxT), 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 2005, muestran que el rendimiento de fruta en las dos

familias de la mejor palma *ténera virescens* seleccionada, supera ampliamente al testigo Deli x AVROS, lo que indica que en el corto plazo es factible desarrollar individuos DxP 100% *virescens* de alta producción (Cuadro 11).

**Cuadro 10.** Características de siete fuentes de polen (*pisíferas*) en una prueba de progenies (Indonesia)

<i>Origen</i>	<i>Líneas</i>	<i>RFF</i>	<i>M/F</i>	<i>A/M</i>	<i>A/R</i>	<i>Aceite</i> <sup>1</sup>	<i>ATR</i>	<i>LR</i>	<i>AF (m<sup>2</sup>)</i>
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
<b>Media</b>	<b>50</b>	<b>120</b>	<b>79.4</b>	<b>50.7</b>	<b>26.6</b>	<b>31.9</b>	<b>141</b>	<b>377</b>	<b>5.04</b>

CV (%) 4.5 3.1 3.2 3.1 5.4 10.5 3.4 6.3

*RFF = racimos de fruta fresca/palma/año (kg promedio primeros 6 años); M/F (%) = mesocarpio en el fruto; A/M (%) = aceite en el mesocarpio; A/R (%) = aceite en el racimo; ATR = altura del tronco (cm) 5 años de edad; LR = largo del raquis (cm), 6 años de edad; AF = área foliar, 5 años de edad; CV = coeficiente de variación*

*1. kg/palma/año*

**Cuadro 11.** Características de progenies Deli x Nigeria *virescens*. Coto, Costa Rica (*segregantes ténera* en las líneas DxT)

<i>Cruce</i>	<i>Líneas</i>	<i>RFF(kg)</i>	<i>M/F (%)</i>	<i>A/M (%)</i>	<i>A/R (%)</i>	<i>A/ha (t)</i>
Deli x Nigeria DxT	12	146.7	82.5	43.9	27.2	5.8
Deli x Nigeria DxT <sup>1</sup>	2	167.3	82.9	48.5	30.0	7.2
Deli x AVROS		121.9	86.0	47.0	29.9	5.2

*RFF = racimos de fruta fresca (promedio de los primeros 4 años); M/F = mesocarpio en el fruto; A/M = aceite en el mesocarpio; A/R = aceite en el racimo; A/ha = aceite por hectárea*

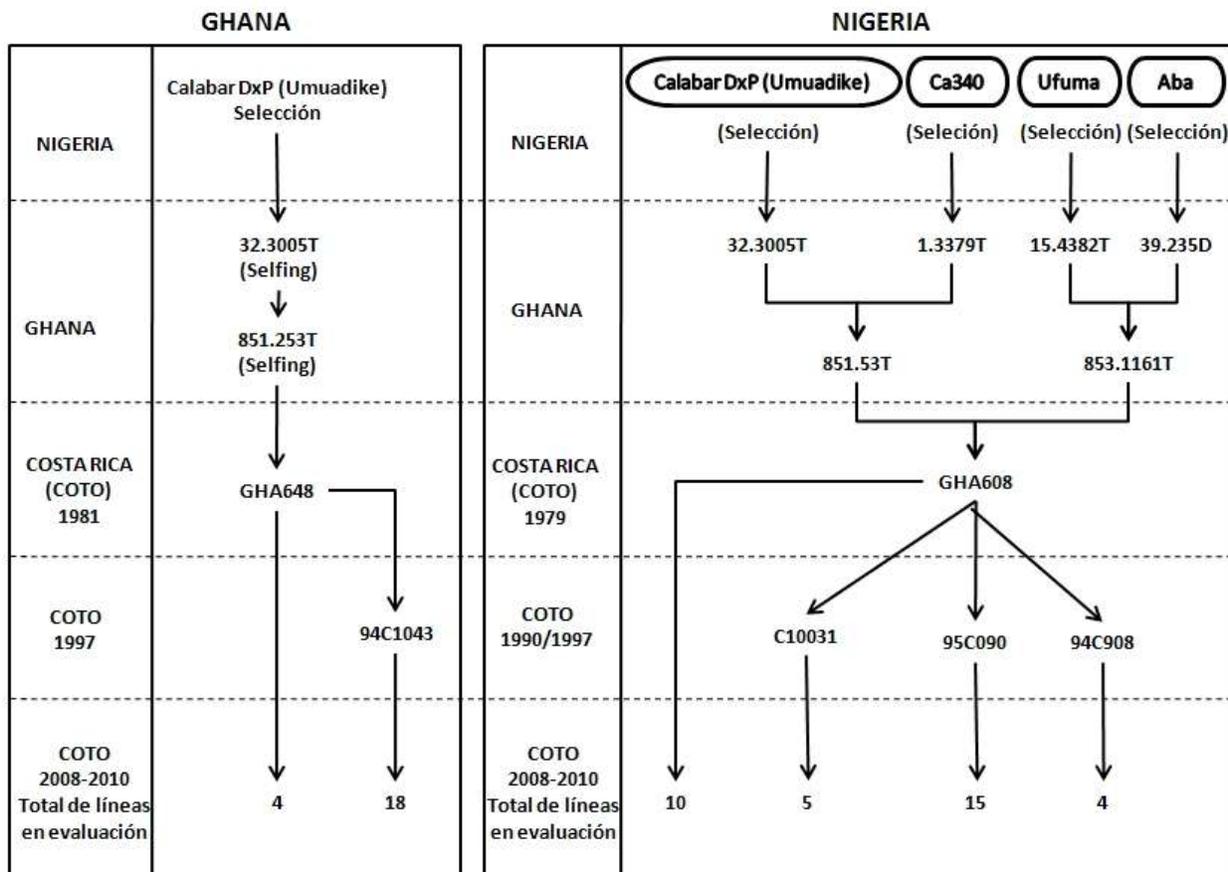
*1. La mejor*

### **Híbridos inter-específicos 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 por incluir esta especie en sus programas de mejoramiento genético para mejorar la calidad del aceite (mayor contenido de ácidos grasos insaturados), y también aprovechar su lento crecimiento del tronco y tolerancia a algunas enfermedades, particularmente las pudriciones del cogollo. De esta manera, ASD logró obtener materiales *guineensis* genéticamente avanzados mediante programas de intercambio de germoplasma. La disposición de esta extensa colección de germoplasma de *oleifera*, también permitió iniciar 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.

En general, los híbridos F<sub>1</sub> son una alternativa de siembra en lugares donde la PC es una limitante importante para el uso de variedades ‘*guineensis*’; pero en general presentan inconvenientes como hojas muy largas y la necesidad de polinización asistida. Por consiguiente, mejorar estas características negativas de los híbridos OxG es un reto para poder consolidar su explotación comercial en el corto plazo.

En una parcela sembrada en la zona Atlántica de Panamá, se determinó que varios cruces OxG de ASD de origen diverso eran tolerantes a la PC (0.2% de palmas enfermas y 3.8 % de muertes asociadas posiblemente con ese desorden). En la variedad Deli x AVROS usada como testigo, la incidencia era 2% y 11.1 % de las palmas habían muerto a los ocho 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 pudrición del cogollo (PC) en los híbridos OxG provienen de madres *oleifera* (Cuadro 12) (Chinchilla et al. 2006).



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

Con base en la baja afección de PC en los híbridos OxG y los resultados de pruebas de progenies y parcelas de observación sembradas entre 1978 y 1998, se inició la producción de semillas comerciales de dos variedades de híbridos OxG a finales del 2007. Uno de estos híbridos, denominado Amazon (ASD Costa Rica 2007), se deriva de palmas madres *E. oleifera* de origen Manaus cruzadas con *pisíferas* compactas y se caracteriza por su alto contenido de aceite en el

mesocarpio. La segunda variedad OxG, denominada Brunca, proviene del cruzamiento de palmas madres *E. oleifera* colectadas en Costa Rica, Panamá y Colombia (caracterizadas por su buen rendimiento de fruta fresca) con fuentes de polen Ghana.

**Cuadro 12.** Incidencia de pudrición común de flecha/arqueo foliar (PCF/AF) y pudrición del cogollo (PC) en *E. oleifera* y *E. guineensis* en Changuinola, Panamá (palmas de 8 años de edad)

<i>Origen</i>	Palmas	PCF/AF	PC (%)	Muertes
BC1 F1 compactas	781	3.1	0.1	9.9
Híbridos OxG	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
<b>Total</b>	<b>2,197</b>	<b>4.8</b>	<b>0.5</b>	<b>7.3</b>

El híbrido Amazon sembrado en Coto en 1993 muestra un lento incremento en altura del tronco y una longitud de la hoja comparable con la de las variedades *guineensis*; por lo cual podría ser plantado a la densidad usual de 143 palmas/ha (Cuadro 13). Las inflorescencias femeninas quedan expuestas (libres de coberturas florales) en al menos 25% durante la antesis, lo que facilita la polinización natural. El porcentaje de frutos normales se ha mantenido alto en estas parcelas de observación, en donde el polen proviene de lotes *guineensis* vecinos. Sin embargo, las inflorescencias de este híbrido producen solo 5-10 gramos de polen/inflorescencia, cantidad inferior a 15-20 gramos/inflorescencia que producen las palmas *guineensis*. Este hecho podría poner un límite a la polinización natural en grandes plantaciones comerciales del híbrido.

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

Variedad	LHJ (cm)	PxS (cm <sup>2</sup> )	ATR (m)
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

El híbrido Amazon también tiene un elevado rendimiento de fruta y buena producción de aceite (Cuadro 14). Se espera que con la nueva selección de palmas madres *oleifera* Manaus 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 a 20%. Las *téneras* de la nueva población compacta, tienen un elevado contenido de aceite en el racimo (22-30 %), el cual se espera sea transmitido a los descendientes híbridos a través de sus hermanas *pisíferas*.

El híbrido Brunca proviene de progenitores masculinos *guineensis* de la población Ghana. Este material fue evaluado inicialmente en pequeñas parcelas en el Oriente del Ecuador, en donde ha mostrado un comportamiento superior a híbridos de otros orígenes. Una de las características 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 ha sido por la presencia de palmas *guineensis* en la vecindad, sin embargo, las pruebas de compatibilidad y cantidad de polen (en evaluación) podrán indicar si ese híbrido requerirá de polinización asistida en plantaciones comerciales.

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

Material	RFF	PMR	NR	FF/R	PF/R	F/R	M/F	A/M	TEI	A/ha(t)
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 (kg) = racimos de fruta fresca (promedio primeros 4 años); PMR (kg) = peso promedio del racimo; NR = número de racimos/palma/año; FF/R (%) = frutos fértiles/racimo; FP/R = frutos partenocárpicos 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; % de aceite en el racimo x 0.87; A/ha = aceite/t/ha (calculado con la TEI)*

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 al de las variedades *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%).

En el cuadro 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 Manaus (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 Manaus.

**Cuadro 15.** Características del racimo de poblaciones *E. oleifera* evaluadas en el programa de mejoramiento de ASD y de otras poblaciones evaluadas en Colombia

<i>Origen</i>	<i>Palmas</i>	<i>F (g)</i>	<i>FF/R (%)</i>	<i>F/R (%)</i>	<i>M/F (%)</i>	<i>A/MF(%)</i>	<i>A/R(%)</i>
CR/Pam/Col F <sub>1</sub>	364	3.1	46.0	64.2	43.9	17.4	5.8
CR/Pam/Col F <sub>2</sub>	79	2.9	43.7	62.5	44.5	15.8	5.2
CR/Pam/Col F <sub>2</sub> *	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 <sub>1</sub>	122	7.4	36.7	59.2	42.8	28.1	9.1
Manaos F <sub>1</sub> *	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 <sup>1</sup>	34		nd	nd	nd	20.5	nd
Cenipalma <sup>2</sup>	26		nd	54-59	30-55	26-43	1.4-13

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

2 Rey, L. et al. 2004

\* Sel 2008

*Población compuesta: CR = Costa Rica; Pan = Panamá y Col = Colombia; F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub> = generaciones filial 1 y 2; F = peso promedio del fruto; 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 F<sub>2</sub>, Taisha y Manaus F<sub>1</sub>; a los 8-10 años en Manaus; a los 10-12 años en CR/Pan/Col F<sub>1</sub>*

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

### **Variedades compactas**

Los materiales para siembra a alta densidad (compactos) de ASD provienen de un programa de retrocruces iniciado hace más de 35 años a partir de un híbrido OxG con características de crecimiento excepcionales (Sterling et al. 1987). El 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 poblaciones compactas, para la obtención de variedades y clones que pueden ser sembrados a alta densidad, se han resumido en dos publicaciones anteriores (Escobar y Alvarado 2004, Alvarado et al. 2007).

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, los cuales aparentemente tienen alta heredabilidad; ya que la fijación del gen compacto es directa al

combinarse con la mayoría de los materiales *guineensis*. El tipo de crecimiento compacto fue estabilizado y se incrementó el contenido de aceite en el racimo en las primeras generaciones de compactas. Por ejemplo, en el segundo retrocruce, RC<sub>2</sub>, se logró conservar el crecimiento promedio observado en el primer retrocruce, RC<sub>1</sub> y se aumentó el porcentaje de aceite en el racimo con respecto a Deli x AVROS (26.2 vs. 25.6%) (Escobar y Alvarado 2004).

Estas características se mantuvieron y mejoraron en la generación recombinante del segundo retrocruce, RC<sub>2</sub>F<sub>1</sub>, donde el porcentaje de aceite en el racimo alcanzó 29.8% (27.4% en AVROS). Sin embargo, en el tercer retrocruce (RC<sub>3</sub>) se observó un aumento en el crecimiento vegetativo, debido a la dilución de los genes compactos por recombinación. En otras palabras, solo fueron necesarios dos ciclos de retrocruces para fijar el carácter compacto cuya frecuencia es mayor en las subpoblaciones F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub> (Escobar y Alvarado 2004 (Cuadro 16).

**Cuadro 16.** Características de varias poblaciones para siembras a alta densidad a través de tres ciclos de retrocruces (segregantes *ténera*)

Tipo	Palmas	RFF (kg)	ATR (cm)	LHJ (cm)	M/F (%)	A/MF (%)	A/R (%)	A/ha (t)
BC <sub>1</sub>	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
BC <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	530	129.0	79.0	416.0	78.3	42.6	22.5	4.2
BC <sub>2</sub>	2,330	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
BC <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	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
BC <sub>3</sub>	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 (promedio de los primeros 4 años); 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*

La población RC<sub>1</sub>F<sub>2</sub> tiene hojas cortas y buen contenido de aceite en el mesocarpio. Algunas progenies de esta población pueden generar variedades que pueden sembrarse a alta densidad (170 o más palmas/ha) y *ortets* (plantas superiores para los programas de clonación) supercompactos que puedan desempeñarse bien aún a 200 palmas/ha. Se espera que los descendientes de la población RC<sub>2</sub>F<sub>1</sub> posean un alto potencial de producción de aceite, dado que este fue el énfasis puesto en la selección de palmas superiores (Cuadro 17).

**Cuadro 17.** Características del racimo de palmas compactas *dura* (D) y *ténera* (T) seleccionadas para la nueva generación sembrada en el 2008

<i>Población</i>	<i>Palmas</i>	<i>M/F (%)</i>	<i>A/M (%)</i>	<i>A/R (%)</i>
BC <sub>1</sub> F <sub>2</sub> D	8	57.5	46.6	19.0
BC <sub>1</sub> F <sub>2</sub> T	6	80.8	48.5	25.8
BC <sub>2</sub> F <sub>1</sub> D	14	61.8	53.8	23.5
BC <sub>2</sub> F <sub>1</sub> 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*

### **Clones compactos**

ASD ha trabajado en la investigación y producción de clones compactos de palma aceitera desde 1980. El trabajo de más de 25 años ha consolidado la tecnología de cultivo de tejidos, la selección de palmas superiores y los procedimientos para el endurecimiento de los *ramets* (Escobar y Alvarado 2004, Alvarado et al. 2007).

En el año 2002 se inició la evaluación de los primeros clones en lotes comerciales. 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. En el cuadro 18 se compara el desempeño de los clones con la variedad Deli x Nigeria.

**Cuadro 18.** Toneladas de racimos de fruta fresca de varios clones compactos y la variedad Deli x Nigeria. Coto y Palmar, Costa Rica (primeros tres años)

<i>Año</i>	<i>Promedio de 12 clones</i>	<i>Mejores dos clones</i>	<i>Deli x Nigeria</i>
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
TEA (%)		28.4	24.2
Aceite/ha (t)		13.5	12.2

*TEA = tasa de extracción de aceite estimada como % de aceite/racimo x 0.87*

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 el 2005, en el que se evalúan varias densidades, la productividad del primer año en dos clones (Tornado y Fran) superó el obtenido en la variedad de referencia (Deli x AVROS). Asimismo, 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 (Cuadro 19).

**Cuadro 19.** Comportamiento de dos clones sembrados a diferentes densidades en el 2005 en Coto, Costa Rica

<i>Clon</i>	<i>Densidad (plantas/ha)</i>	<i>Producción en el primer año (t/ha)</i>	<i>Longitud foliar (36 meses, cm)</i>
Tornado	205	12.4	394
Tornado	235	16.3	397
Media		14.4	395
Fran	180	17.0	460
Fran	205	19.7	456
Media		18.3	458
Deli x AVROS	143	9.0	480

El carácter compacto se manifiesta más claramente conforme aumenta la edad de la plantación. En palmas menores a dos años, la diferencia en la longitud foliar con las variedades *guineensis* fue de 0.2–1.0 m. No obstante, las diferencias observadas en palmas compactas de semilla y clones de nueve años de edad fueron de 1.5-2 metros y 2.5-3 metros respectivamente con respecto al testigo *guineensis*. En lo que concierne al incremento anual en altura del tronco, se observó una diferencia superior a dos metros entre los materiales compactos y el testigo *guineensis* a los nueve años de edad.

## **Producción comercial 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 base a los cuales se escogen las líneas con alta habilidad combinatoria general. La selección posterior de las palmas individuales se fundamenta en características del racimo de alta heredabilidad, tales como mesocarpio en el fruto, aceite en el mesocarpio y aceite en el fruto, lo cual se complementa con datos de producción de racimos y crecimiento (altura del tronco y longitud foliar). Los estándares dados en Malasia por el SIRIM (Sharma 2006), se usan como referencia para determinar la calidad de las palmas madres (Cuadro 20).

Para la producción comercial de semilla, ASD usa actualmente 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.

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

Variable	Deli	Tanzania	Bamenda	Compacta	<i>E. oleifera</i> Brazil C.A <sup>1</sup>		SIRIM
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	
Años <sup>2</sup>	4	5	5	3	1	1	
Madres <sup>3</sup>	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

1. *E. oleifera* de Centro América, 2. Años de evaluación. 3. Número de palmas madre

La palmas madres *guineensis* Tanzania y las compuestas de origen compacta también superan los estándares del SIRIM; mientras que las palmas madres Bamenda tienen menor porcentaje de mesocarpio en el fruto, aceite en el mesocarpio seco y de aceite en el racimo. La población Bamenda, que se caracteriza por su tolerancia al frío, la sequía y a algunas enfermedades, aún está en el primer ciclo de selección. Por consiguiente y por su amplia variabilidad genética, se espera lograr mejorarla en las generaciones futuras.

Las palmas madres *oleifera* 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, su producción de racimos de fruta fresca es muy superior al estándar del SIRIM (Cuadro 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 demanda por las variedades de ASD ha sido determinada 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 han popularizado Deli x Ghana y Deli x Nigeria, junto con nuevas variedades de origen compacto (Cuadro 21).

**Cuadro 21.** Área sembrada con variedades producidas por ASD entre 1986 y 2008

Variedad	Miles de hectáreas			Total
	América	Asia	África	
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*

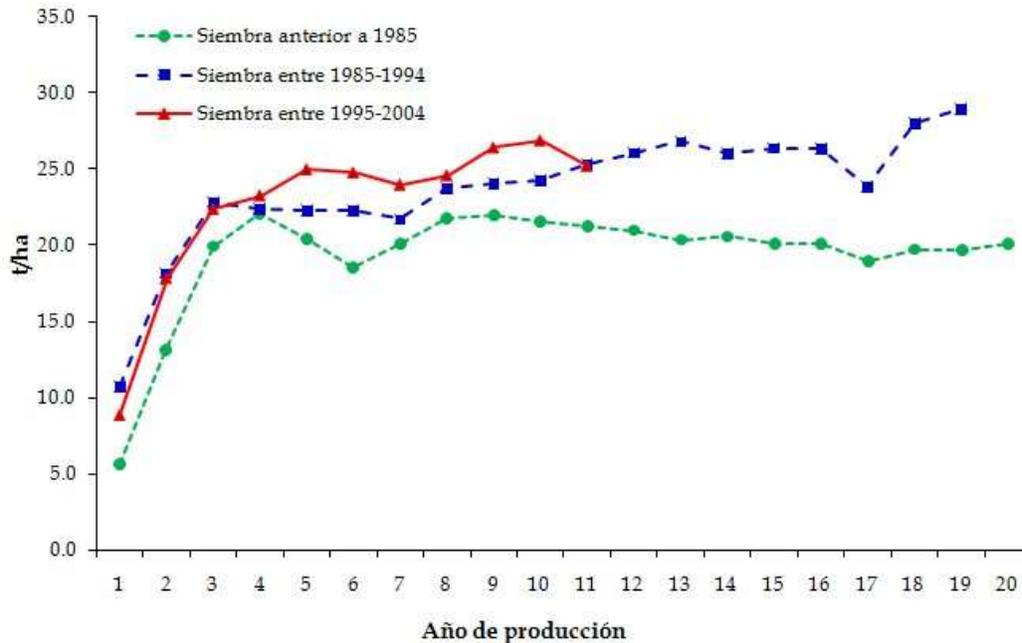
El área total sembrada hasta el año 2008, la producción de aceite y la productividad de las plantaciones adultas, en cuatro países de América Latina se muestran en el cuadro 22 (Oil World, 2009). Dado que las plantaciones de palma aceitera en Costa Rica fueron establecidas exclusivamente con materiales de siembra de ASD, la alta productividad del país (4.2 t/ha de aceite) refleja el buen comportamiento general de los mismos.

**Cuadro 22.** Área sembrada y producción promedio anual de aceite crudo de palma (2006 - 2008) en cuatro de los principales países productores de América Latina

País	Área sembrada (miles de ha)	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*

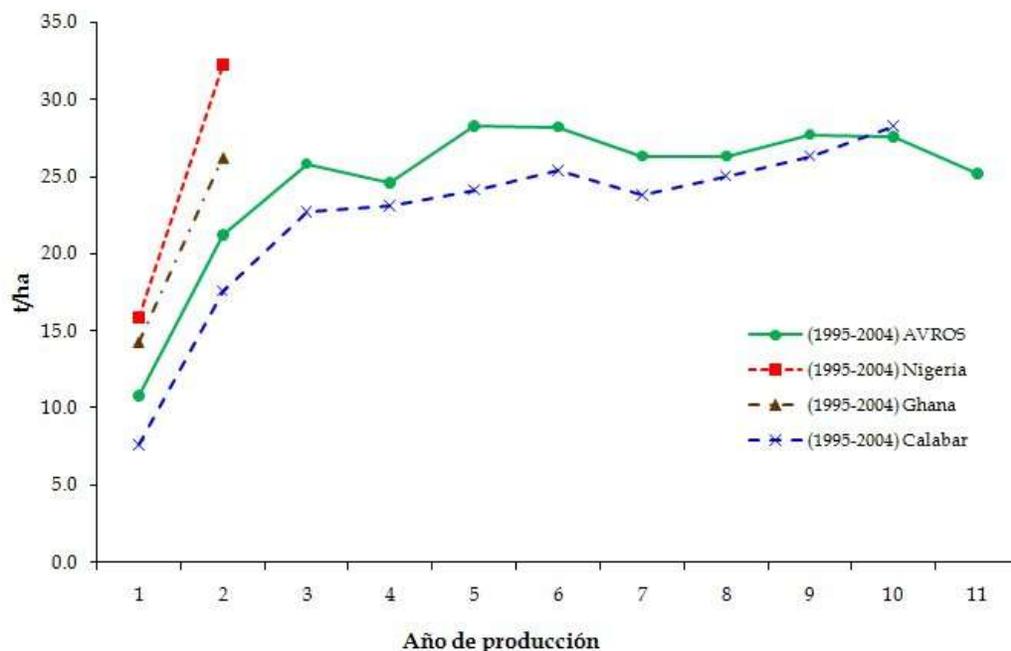
El mejoramiento de la productividad de las variedades de ASD también se puede observar en la curva histórica de producción de una de las plantaciones comerciales de Costa Rica (Fig. 2).



**Fig. 2.** Cambios en la productividad asociada al uso de nuevas variedades en nuevas siembras.

Si bien es cierto, parte del aumento en la productividad mostrado en la figura anterior se debe a la adopción de mejores prácticas agronómicas, este aumento también está estrechamente asociado al reemplazo de viejas variedades por otras con mayor potencial productivo. Las plantaciones sembradas antes de 1985 (5,800 ha) incluyen materiales DxT (*dura x ténera*) sembrados antes de 1977 y lotes de origen Deli x AVROS provenientes de las introducciones originales y de la primera selección F<sub>1</sub>. Las plantaciones sembradas entre 1985 y 1994 (3,200 ha), incluyen una alta proporción de palmas Deli x AVROS descendientes de las dos primeras selecciones F<sub>1</sub>. Además, abarcan lotes con las nuevas variedades Deli x Ekona y Deli x Calabar (esta última es una mezcla de las actuales variedades Deli x Ghana y Deli x Nigeria). Las plantaciones sembradas después del año 1995 (4,700 ha), incluyen una mayor proporción de las nuevas variedades Deli x Ghana y Deli x Nigeria. Las palmas madres que originaron estas plantaciones provienen de las mejores palmas *dura* Deli sembradas después de 1990.

Al comparar las generaciones de AVROS y Calabar (Ghana + Nigeria) más recientes (1995-2004), con el comportamiento inicial de las nuevas variedades Ghana y Nigeria (siembra 2004), estas últimas muestran alta precocidad y mayor productividad (Fig. 3), lo cual ha promovido el aumento en la producción de semillas de estas dos variedades por parte de ASD.



**Fig. 3.** Mejoras en la productividad (racimos de fruta) en plantaciones comerciales en Coto (Costa Rica) asociadas al uso de nuevas variedades más productivas.

## Conclusiones

A través de más de 40 años de mejoramiento de la palma aceitera, ASD ha aprovechado sus abundantes recursos genéticos para crear novedosos materiales de siembra. El avance en la selección de palmas superiores en las poblaciones *dura* Deli y *duras* africanas, y la evaluación de las fuentes de polen disponibles, ha permitido la creación de más de diez variedades comerciales. Dentro de estas, las nuevas variedades para siembra a alta densidad sobresalen por su alto potencial de producción y por la posibilidad de optimizar el uso de la tierra. La reciente evaluación a escala comercial de los clones derivados de estas poblaciones compactas promete revolucionar la industria en el mediano plazo. La creación de nuevos híbridos OxG, con características cada vez más similares a *guineensis* y de variedades 100 % *virescens*, son nuevas e interesantes opciones para las 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 logros posibles en un futuro cercano.

## References

- Alvarado, A; Sterling, F. 2004. Desarrollo de variedades de palma de aceite para condiciones climáticas extremas. *Palmas* 25 (No. Especial, Tomo II): 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* 28 (no. Especial, Tomo I): 256-264.

- ASD COSTA RICA. 2007. Nuevo híbrido OxG Amazon. ASD. Informe 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, CJ. 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*. 28 (No. especial): 273-284.
- Corley, R.; 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* 25 (No. especial, tomo II): 39-48.
- Richardson, DL. 1995. The history of oil palm breeding in the United Fruit Company. *ASD Oil Palm Papers*. 11: 1-22.
- Richardson, DL; Alvarado, A 2003. ASD oil palm germplasm from Nigeria. *ASD Oil Palm Papers*. 26: 1-32.
- Richardson, 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.

## Comportamiento en vivero de las enfermedades de la ‘mancha anular’ y el ‘anillo clorótico’ en cruces comerciales de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) e híbridos OxG en Tumaco, Colombia

Eduardo Peña<sup>1</sup>, Rafael Reyes<sup>2</sup>, Silvio Bastidas<sup>2</sup>, Francisco Morales<sup>3</sup>, Iván Lozano<sup>3</sup>

### Resumen

Se documentó la presencia en palmas de vivero de síntomas de las enfermedades del anillo clorótico y la mancha anular en 14 cruces *ténera* de *Elaeis guineensis* y dos híbridos *E. oleifera* x *E. guineensis*. La mancha anular apareció en palmas de todos los cruces *guineensis* evaluados, pero se observaron diferencias entre cruces en cuanto a la incidencia. Solamente uno de los dos híbridos mostró síntomas de esta enfermedad. La presencia del virus AOPRV (African oil palm ring spot virus) asociado a la enfermedad fue confirmado mediante pruebas moleculares RT-PCR.

La presencia del potyvirus asociados a los síntomas del anillo clorótico se confirmó con la prueba serológica ELISA. La presencia simultánea de ambos virus en una misma planta fue confirmada tanto en los genotipos *guineensis* como en el híbrido afectado; lo cual no había sido documentado anteriormente; como tampoco la presencia del anillo clorótico en palmas del híbrido OxG en Colombia. Las diferencias en respuesta encontradas en los diferentes materiales genéticos evaluados, indican que es posible hallar dentro de *guineensis* u *oleifera* algún grado de tolerancia o resistencia a estas enfermedades de origen viral

### Introducción

El área plantada con palma aceitera en Colombia comprende 316,000 ha, pero se esperaba alcanzar 443,000 ha en el año 2010 y aproximadamente un millón de hectáreas en el 2020 (FEDEPALMA 2000, Liebovich 2005, MADR 2006). Para cumplir con estos estimados, se requeriría plantar 67,000 ha en la región de Tumaco (Romero et al. 1999, Owen 1992). Sin embargo, las enfermedades, particularmente la pudrición del cogollo, constituyen un obstáculo importante para el desarrollo proyectado. En el pasado reciente, la mancha anular y el anillo clorótico también habían alcanzado incidencias muy elevadas en algunas plantaciones, lo cual se consideró una amenaza real para la industria.

En Suramérica, la mancha anular se observó por primera vez en Perú (1969); posteriormente en Ecuador (1974) y luego en Colombia (1985) (Dzido et al. 1978, Peña et al. 1991, Morales et al. 2002, Caicedo 2003). La enfermedad no ha sido registrada en Centroamérica (Chinchilla 2001). En Costa de Marfil, se encontró una enfermedad similar conocida como ‘pudrición basal seca’, y se identificaron los insectos *Sogatella kolophon* y *S. cubana* (Homóptera: Delphacidae) como sus posibles agentes transmisores (Renard y Quillec 1984).

---

<sup>1</sup> CORPOICA, Est. Exp. El Mira, [epena@corpoica.org.co](mailto:epena@corpoica.org.co); <sup>2</sup> CORPOICA, Est. Exp. El Mira, [rreyes@corpoica.org.co](mailto:rreyes@corpoica.org.co), [sebastidas@corpoica.org.co](mailto:sebastidas@corpoica.org.co); <sup>3</sup> CIAT, Cali, Colombia, [f.morales@cgiar.org](mailto:f.morales@cgiar.org), [i.lozano@cgiar.org](mailto:i.lozano@cgiar.org)

La mancha anular afecta ambas especies del género *Elaeis* (*guineensis* y *oleifera*) y sus híbridos. Los síntomas comprenden un secamiento rápido de las hojas más jóvenes sin abrir (flechas) y el desarrollo de una pudrición seca en el área del cogollo (Dzido et al. 1978, Renard y Franqueville 1989). Los síntomas se han asociado a la presencia de un virus del género Foveavirus, que se ha denominado AOPRV (African oil palm ringspot virus) (Morales et al. 2002b).

En Colombia, la enfermedad solo se ha encontrado hasta ahora en Tumaco; en donde la incidencia normalmente ha variado entre 2 y 45% (Jiménez 1988, Sánchez 1990, Nieto 1996, Morales et al. 2002). No obstante, en algunos viveros y plantaciones jóvenes (menores que tres años), la totalidad de las plantas ha sido afectada (Morales et al. 2002). Al parecer, una tolerancia a la enfermedad se desarrolla con la edad, puesto que los síntomas son raros en palmas mayores que cinco años.

La aparición y una mayor incidencia de la enfermedad se asocian con un drenaje inadecuado y la presencia de ciertas malezas, en particular gramíneas de porte alto, tales como *Panicum* sp. (Peña et al. 1991, Morales et al. 2002). La expresión de los síntomas parece variar con las condiciones ambientales y los intentos para reproducir los síntomas mediante inoculaciones mecánicas o por transmisión por insectos han resultado infructuosos (Morales et al. 2002).

La enfermedad del anillo clorótico afecta a palmas en la etapa de vivero y durante la fase juvenil en el campo. Inicialmente se encontró en Ecuador (1995), y posteriormente en Colombia (1996) en la zona de Tumaco (Genty 1996, Chinchilla 2001, Morales et al. 2002). En ambos países, los síntomas se han asociado con la presencia en el tejido infectado de una cepa del virus del mosaico de la caña de azúcar (SCMV), perteneciente al grupo de los Potyvirus (Chinchilla 1996, 2001, Morales et al. 2002). Aunque las palmas con síntomas no mueren, su productividad es fuertemente comprometida; lo cual obliga a la erradicación de las palmas de vivero afectadas, que en algunos casos puede ser superior a 80% (Genty 1996, Chinchilla, 2001, Morales et al. 2002).

El manejo de estas enfermedades es prioritario para mantener la competitividad de la industria, y la búsqueda de resistencia/tolerancia parece ser la vía más conveniente para solucionar el problema a largo plazo. Debido a la falta de una metodología para lograr la reproducción de los síntomas, se requiere exponer a la enfermedad una amplia variabilidad genética, en sitios con alta presión de inóculo, con el objetivo de seleccionar aquellos que muestren un menor grado de incidencia (severidad) de la enfermedad. Este trabajo resume los resultados de un experimento de vivero, en donde se sembraron 14 cruces *guineensis* y dos híbridos OxG en un sitio en donde hubo una plantación que fue severamente afectada por la mancha anular.

## **Materiales y Métodos**

El estudio se realizó en Tumaco (Nariño, Colombia), durante el período entre julio 2007 y julio 2008, en la plantación Hacienda Aguas Lindas perteneciente a la empresa Palmar Santa Elena, S. A., la cual está ubicada en la vereda Caunapí, kilómetro 68 de la vía Tumaco-Pasto. Este sitio se caracterizaba por la aparición recurrente y severa de la mancha anular: 10 y 25% de incidencia en las dos siembras anteriores recientes (1987 y 1989).

Se evaluaron 16 cruces ( Cuadro 1), once de los cuales provenían de CORPOICA (Colombia), y cinco de Costa Rica (ASD de Costa Rica). Inicialmente se estableció un previvero durante tres meses en la Estación Experimental El Mira de CORPOICA, ubicada a 30 Km del sitio del ensayo. Durante este periodo se hicieron tres aplicaciones espaciadas un mes del insecticida monocrotofos (5 cc. p.c./l). No se aplicó ningún otro agroquímico durante esta fase.

**Cuadro 1.** Cruces de *Elaeis guineensis* e híbridos OxG (*E. guineensis* x *E. oleifera*) evaluados en su respuesta a las enfermedades de la ‘mancha anular’ y ‘anillo clorótico’. Tumaco, Colombia

Cruces	Genotipo	Origen
D 1 x P, Yangambi	<i>guineensis</i>	Colombia
D 1 x P, La Mé	<i>guineensis</i>	Colombia
D 1 x P, Pobé	<i>guineensis</i>	Colombia
D 2 x P, Yangambi	<i>guineensis</i>	Colombia
D 2 x P, La Mé	<i>guineensis</i>	Colombia
D 2 x P, Pobé	<i>guineensis</i>	Colombia
D 3 x P, Yangambi	<i>guineensis</i>	Colombia
D 3 x P, La Mé	<i>guineensis</i>	Colombia
D 3 x P, Pobé	<i>guineensis</i>	Colombia
D x AVROS	<i>guineensis</i>	Costa Rica
D x Ekona	<i>guineensis</i>	Costa Rica
Compacta x Ekona	<i>guineensis</i>	Costa Rica
Bamenda x Ekona	<i>guineensis</i>	Costa Rica
Tanzania x Ekona	<i>guineensis</i>	Costa Rica
<i>Elaeis oleifera</i> 1 x D	OxG	Colombia
<i>E. oleifera</i> 2 x D	OxG	Colombia

*D*= Deli; *P*= *pisifera*

Después de una primera selección en el previvero, se llevaron las plantas a la Hacienda Aguas Lindas, en donde se instaló el vivero utilizando bolsas plásticas (30 cm x 40 cm) con suelo del sitio y espaciadas a 1.0 m en las esquinas de un triángulo equilátero. El sitio escogido está a pocos metros de un lote comercial, en donde en 1987 se había registrado una incidencia de ‘mancha anular’ superior a 20%. En total se sembraron 3,200 plantas, distribuidas en un diseño completamente al azar, con 16 tratamientos (cruces) y 200 repeticiones por tratamiento, donde la unidad experimental correspondió a una palma.

Las plantas fueron mantenidas en este vivero durante 56 semanas, durante las cuales solamente se aplicó una fórmula fertilizante (17-6-18-2). Para favorecer la presencia de los posibles insectos vectores, y de forma indirecta las condiciones para que las palmas resultaran afectadas por la mancha anular, el control de malezas se realizó en forma mecánica cada 120 días. Las visitas para el registro de las palmas con síntomas se hicieron tres veces por semana, cuando cada palma individual fue revisada por la presencia de hojas amarillas, así como de pequeñas manchas amarillas y alargadas en los folíolos y raquis de las hojas más jóvenes (Peña et al. 1991, Morales et al. 2002). Adicionalmente, también se documentó la presencia de síntomas de otras enfermedades como el anillo clorótico, la pudrición común de la flecha y la pudrición del cogollo; todo esto siguiendo las descripciones de Peña et al. (1991), Nieto (1996) y Morales et al. (2002).

Para confirmar el diagnóstico visual, se seleccionaron al azar 54 palmas afectadas, de las cuales se tomó tejido foliar que fue enviado al laboratorio de virología del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en Palmira, en donde se realizaron pruebas moleculares de RT-PCR y serológica ELISA, siguiendo la metodología de Morales et al. 2002b.

Para el seguimiento de la población de insectos se utilizó el método de un barrido semanal con pases dobles de jama ó red caza-insectos, los cuales se realizaron entre 9:00 am y 10:00 am y 3:00 pm y 4:00 pm.

Con los registros del número de palmas con síntomas de mancha anular en cada cruce o genotipo, se determinó el porcentaje de incidencia general (sobre el total de palmas del vivero) y la particular para cada genotipo. Los insectos del orden Homoptera capturados, fueron sometidos a una primera aproximación de identificación a nivel de especie en el Instituto de Ciencias Naturales (ICN) de la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá.

Los datos del número de palmas afectadas por genotipo se analizaron mediante el procedimiento FREQ del paquete estadístico SAS ver. 9.1.3., mediante la opción CHISQ (prueba de dependencia de Chi-cuadrado), para probar la hipótesis ( $\alpha=0.05$ ) con respecto a la dependencia entre la presencia de la enfermedad y los materiales de palma evaluados, así como su procedencia.

## **Resultados y Discusión**

Los síntomas (Fig. 1)) de la macha anular observados fueron consistentes con los descritos por Peña et al. (1991), Morales et al. (2002) y Chinchilla (2001). La primera palma afectada se detectó a los 121 días posteriores al trasplante a vivero y la última a los 328 días posteriores al trasplante. Esta información permite concluir que el periodo de incubación de la enfermedad es necesariamente inferior a cuatro meses, puesto que el área en donde se hizo el previvero estaba libre de la enfermedad.



**Fig. 1.** *Izquierda.* ‘Mancha anular’ en plantas de vivero de palma aceitera: manchas blancuzcas discretas y alargadas en los foliolos y raquis. *Derecha.* ‘Anillo clorótico’.

Al final del periodo de vivero, el número total de palmas registradas con síntomas de la mancha anular fue de 110 (3,44% de incidencia total; Cuadro 2), lo cual está dentro del ámbito de incidencia (2-45 %) normal encontrado para esta enfermedad en la región (Morales et al. 2002a).

Todos los cruces *guineensis* presentaron síntomas, pero uno de los dos híbridos OxG no mostró palmas afectadas (Cuadro 2). Las variedades con mayor incidencia fueron Deli x AVROS (8.0 %), Deli 1 x Yangambi (6.0 %), Deli 3 x La Mé (0.6 %), Deli 1 x La Mé (5.5%) y Deli 2 x La Mé (5.5%). La menor incidencia se presentó en la variedad Compacta x Ghana (0.5 %).

La ausencia de síntomas en uno de los dos híbridos OxG podría indicar resistencia o escape, cosa que habrá que verificar en otro ensayo de campo. Por otro lado, la presencia de palmas enfermas en el otro híbrido, confirma la susceptibilidad de estos materiales, tal como había sido indicado por Dzido et al (1978).

La prueba de dependencia de Chi cuadrado ( $\alpha < 0.0001$ ) permitió establecer que existían diferencias estadísticas entre variedades en su respuesta a la enfermedad de la mancha anular, pero no entre la procedencia de estos materiales (Colombia y Costa Rica).

Los análisis RT-PCR confirmaron la presencia del virus de la mancha anular (AOPRV) en las palmas con síntomas (Cuadro 3). Las bandas secuenciadas obtenidas presentaron una identidad del 100% con el AOPRV al ser comparadas en el banco mundial de datos genéticos. Sorprendentemente, cada muestra en la prueba ELISA presentó también reacción serológica positiva con el anticuerpo monoclonal para potyvirus, lo cual confirmó la presencia del virus del ‘anillo clorótico’ tanto en *guineensis* como en el híbrido OxG, Figs. 2 y 3). Se siguió a Lozano et al. (2009) en las técnicas de extracción, síntesis de ADN y complementarias.

**Cuadro 2.** Incidencia (%)<sup>1</sup> de ‘mancha anular’ en palmas de vivero de 14 cruces de *E. guineensis* y dos cruces OxG (*Elaeis oleifera* x *E. guineensis*). Tumaco, Colombia

Cruce	Incidencia <sup>1</sup> general	Incidencia por cruce <sup>2</sup>
Deli 1 x <i>Pisifera</i> , Yangambi	0.38	6.00
Deli 1 x <i>Pisifera</i> , La Mé	0.34	5.50
Deli 1 x <i>Pisifera</i> , Pobé	0.03	0.50
Deli 2 x <i>Pisifera</i> , Yangambi	0.22	3.50
Deli 2 x <i>Pisifera</i> , La Mé	0.34	5.50
Deli 2 x <i>Pisifera</i> , Pobé	0.13	2.00
Deli 3 x <i>Pisifera</i> , Yangambi	0.06	1.00
Deli 3 x <i>Pisifera</i> , La Mé	0.38	6.00
Deli 3 x <i>Pisifera</i> , Pobé	0.28	4.50
Deli x AVROS	0.50	8.00
Deli x Ekona	0.25	4.00
Compacta x Ghana	0.03	0.50
Bamenda x Ekona	0.19	3.00
Tanzania x Ekona	0.13	2.00
Nolí 1 ( <i>Elaeis oleifera</i> ) x Deli	0.00	0.00
Nolí 2 x Deli	0.19	3.00
Incidencia general	3.44	

<sup>1</sup> 3,200 palmas totales

<sup>2</sup> 200 palmas por cruce

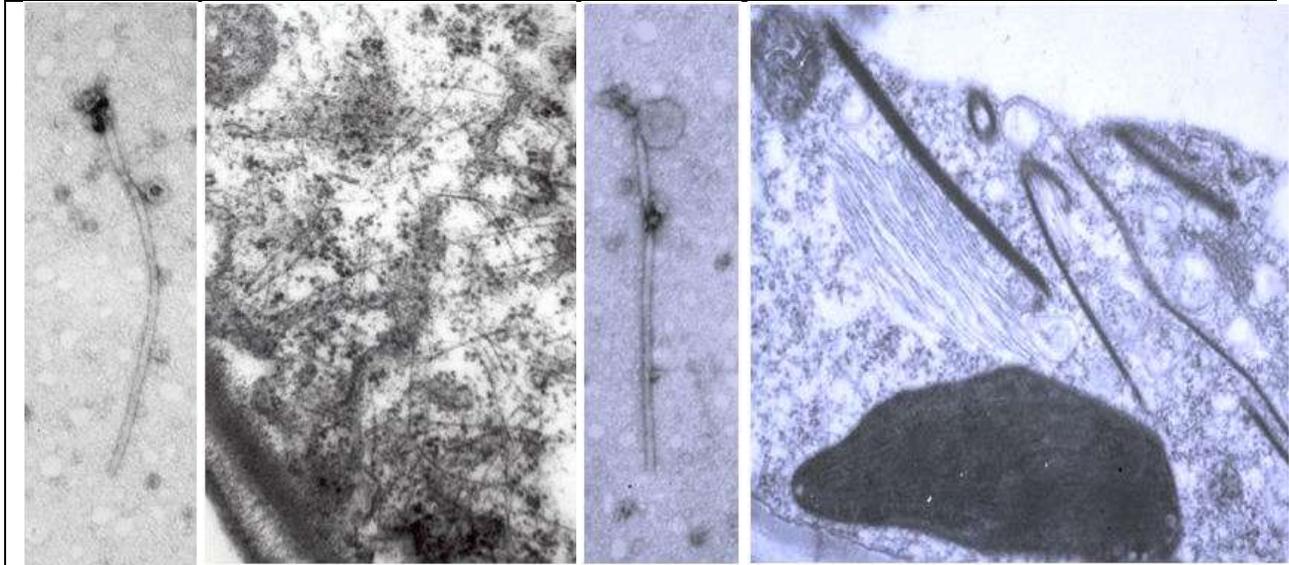
La mayoría de las variedades comerciales de palma aceitera tienen una base genética bastante reducida, por lo cual no es sorprendente que todos los cruces con madres Deli fueran susceptibles. Sin embargo, se esperaba un comportamiento diferente en variedades como Bamenda x Ekona y Tanzania x Ekona genéticamente más alejadas de otras variedades comerciales. En el caso de los dos híbridos OxG probados, el progenitor masculino en ambos fue Deli, y queda la posibilidad de evaluar la respuesta a estas enfermedades virales en otros cruces con un progenitor masculino diferente. No obstante, ya Renard y Franqueville (1989) habían encontrado que *Elaeis oleifera* era susceptible a la mancha anular.

**Cuadro 3.** Determinación de la presencia de los virus de la ‘mancha anular’ (AOPRV) y del ‘anillo clorótico’ (potyvirus) en tejido de palmas de vivero

Cruce	RT-PCR <sup>1</sup>	DAS ELISA <sup>2</sup>
Deli 1 x <i>Pisifera</i> , Yangambi	+	+
Deli 1 x <i>Pisifera</i> , La Mé	+	+
Deli 1 x <i>Pisifera</i> , Pobé	+	+
Deli 2 x <i>Pisifera</i> , Yangambi	+	+
Deli 2 x <i>Pisifera</i> , La Mé	+	+
Deli 2 x <i>Pisifera</i> , Pobé	+	+
Deli 3 x <i>Pisifera</i> , Yangambi	+	+
Deli 3 x <i>Pisifera</i> , La Mé	+	+
Deli 3 x <i>Pisifera</i> , Pobé	+	+
Deli x AVROS	+	+
Deli x Ekona	+	+
Compacta x Ghana	+	+
Bamenda x Ekona	+	+
Tanzania x Ekona	+	+
Nolí ( <i>Elaeis oleifera</i> ) 1 x Deli	-	-
Nolí 2 x Deli		+
Control negativo (frijol sano)		+
Control positivo (BCMNVNL3)		+

1. Mancha anular; 2. Anticuerpo específico para ‘anillo clorótico’.

Algunas de las plantas de vivero presentaron síntomas de pudriciones de cogollo y de flechas; por lo cual se tomaron muestras que resultaron negativas para la presencia de partículas virales, indicando que no hay relación entre este tipo de pudriciones y la presencia de los virus de la mancha anular o el anillo clorótico.



**Fig. 2.** Partículas en el citoplasma de células de hojas aún no abiertas de palmas aceiteras en la fase de vivero que mostraban síntomas de ‘mancha anular’. Cortesía del Laboratorio de la Unidad de Virología del CIAT, 2009.

**Fig. 3.** *Izquierda.* Partícula filamentososa del virus del ‘anillo clorótico’. *Derecha.* Partículas del virus e inclusiones en el citoplasma de células de hojas de palmas de vivero también afectadas por el virus de la ‘mancha anular’. Cortesía del Laboratorio de la Unidad de Virología del CIAT, 2009.

Se capturaron 13.013 adultos de insectos del orden Homoptera, que inicialmente fueron clasificados dentro de 21 especies, lo cual es una indicación de la complejidad de la fauna insectil que se encuentra asociada al sistema de producción de la palma aceitera en la región de Tumaco. Durante este estudio no se hizo ningún intento por establecer la relación de ninguno de estos insectos con la presencia de alguna de las enfermedades estudiadas. Otros estudios ya habían indicado la riqueza de especies de insectos asociados a la palma en la región (Caicedo 2003).

## Conclusiones

La determinación de la presencia del potyvirus asociados con los síntomas del anillo clorótico en un híbrido OxG en Tumaco, corresponde al primer informe de este tipo en Colombia. Asimismo, se documenta la presencia simultánea en tejido infectado de los virus de la mancha anular (AOPRV) y el anillo clorótico (potyvirus) en palmas de vivero de *E. guineensis* y el híbrido OxG (*E. guineensis* x *E. oleifera*).

Todos los materiales *guineensis* sembrados mostraron palmas con síntomas de mancha anular (y eventualmente con el virus del anillo clorótico); esto a pesar de haberse incluido algunos cruces bastante diferentes de los tradicionales con madres de origen Deli. No obstante, se observaron diferencias significativas entre cruces en cuanto al porcentaje de plantas infectadas; lo cual abre la posibilidad de encontrar eventualmente algunos con un mayor grado de tolerancia a estas enfermedades virales.

## Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. El trabajo es un avance de resultados del proyecto ‘Evaluación de materiales de palma de aceite *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleifera* frente a la enfermedad mancha anular’, financiado mediante convenio No. 002/2006 Contrato MADR - IICA No. 354/2006. Se agradece a las empresas Palmar Santa Elena S.A. por el apoyo logístico, y a Compact Seeds and Clones de Costa Rica por el suministro de sus materiales genéticos.

## Literatura

- Caicedo E. 2003. Reconocimiento de áfidos y plantas arvenses asociadas a palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq. y su posible relación con mancha anular. Tesis. Univ. Nariño, Fac. de Ciencias Agríc. Ing. Agro. San Juan de Pasto. 158 p.
- Chinchilla C., Umaña C. 1996. There is no danger in importing palm diseases through oil palm seed imports from Costa Rica. ASD Oil Palm Papers, 13: 1-8.
- Chinchilla C. 2001. El anillo clorótico y otros síntomas atribuidos a virus en palma aceitera: riesgos de transmisión por semilla. ASD Oil Palm Papers, 22: 23 - 27.
- Dzido J. L., Genty P., Ollagnier M. 1978. Les principales maladies du palmier à huile en Equateur. Oleagineux, 33 (2): 55 - 63.
- FEDEPALMA. 1999. Censo Nacional de Palma de Aceite Colombia 1997 - 1998. Federación nacional de cultivadores de palma de aceite. Colombia. 259 p.
- FEDEPALMA. 2000. Visión y estrategias de la palmicultura colombiana: 2000 - 2020. Federación nacional de cultivadores de palma de aceite, Bogotá, diciembre de 2000. 291 p.
- Jiménez O., 1988. Mancha anular de la palma africana de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Colombia. Ascolfi Informa 14: 55 - 56.
- Liebovich J. 2005. Agenda interna para el desarrollo de la competitividad de los sectores productivos colombianos: visión del Gobierno Nacional. Palmas, 26 (número especial): 65- 76.
- Lozano I., Morales F. Martínez A., Peña E. 2009. Molecular characterization and detection of african oil palm ringspot virus. J. of Phytopathol. (en revisión).
- MADR (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural). 2006. Apuesta Exportadora Agropecuaria Colombia 2006-2020. Bogotá. 119p.
- Morales F., Lozano I., Arroyave J., Castaño M., Sedano R., Velasco A. 2002a. Enfermedades virales de la palma de aceite en el suroccidente colombiano y sus agentes causales. Fitopatología Colombiana, 26(2): 81-86.

- Morales F., Lozano J., Velasco A., Arroyave J. 2002b. Detection of a fovea-like virus in African oil palm affected by a lethal 'ringspot' disease in South America. *J. Phytopathol.* 150: 611-615.
- Nieto E. 1996. Enfermedades de la palma de aceite. Memorias Primer Curso Internacional de Palma de Aceite. Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma. Santafé de Bogotá, 1996. 433 p.
- Owen E. 1992. Regiones aptas para la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en la costa pacífica del departamento de Nariño. *Palmas*, 13(4): 15-20.
- Peña E., Jimenez O., Arciniegas A. 1991. Mancha anular de la palma africana. *Bol. Tec.* No. 8. ICA-Fedepalma. 19 p.
- Renard J., Quillec G. 1985. Enfermedades destructoras de la palma de aceite en África y Suramérica. *Palmas*, 1: 9-16.
- Renard J., Franqueville H. 1989. Oil palm bud rot. *Oléagineux* 44(2): 87-92.
- Sanchez A. 1990. Enfermedades de la palma de aceite en América Latina. *Palmas*, 11(4): 5-38.