

Avances recientes en el mejoramiento de la palma de aceite y su incidencia en la productividad*

Recent developments in oil palm breeding and their influence on productivity

N. RAJANAIDU; B.S. JALANI; AHMAD KUSHAIRI¹



RESUMEN

En el mejoramiento de la palma de aceite el mayor énfasis ha sido en el rendimiento de aceite, el cual ha aumentado de 5,0 a 9,0 t/ha/año (1960-1990] en las plantaciones bien manejadas. Ultimamente existe una tendencia hacia un mejoramiento preciso y orientado hacia un objetivo. El material de siembra que se utiliza actualmente crece rápidamente a un ritmo de 40-70 cm por año. Es difícil cosechar las palmas altas. Las poblaciones de las que se tomaron las muestras en Nigeria central son de alto rendimiento y enanas. Estas palmas están siendo multiplicadas con el fin de producir material de siembra enano y de alto rendimiento (PSI) para el futuro. El aceite de palma se solidifica a baja temperatura y por lo tanto no es adecuado para utilizarlo como aderezo para ensalada ni como aceite de cocina en países templados. Dentro de las colecciones de Nigeria, Camerún y Zaire, existe un número de palmas que producen aceite de palma crudo (APC) con un índice de yodo (IY) de 60. Con el fraccionamiento adicional del APC, el IY podría llegar a 70 en la fracción de oleína. Con este IY sería posible comercializar la oleína de palma como aceite para ensalada y cocina en los países templados. La copra y el palmiste son fuentes importantes de aceite láurico que es la principal materia prima para la industria oleoquímica. Es posible aumentar el contenido de palmiste en el racimo de 6 a 12% utilizando las últimas colecciones de germoplasma de palma de aceite. El análisis económico demuestra que es rentable maximizar el contenido de palmiste en los materiales de siembra. De palma de aceite. Existe potencial para extraer aceite puro de la *Elaeis oleífera* con fines farmacéuticos. Las poblaciones de *E. oleífera* de Centroamérica y Colombia tienen un alto índice de yodo (> 90) y algunas de las palmas tienen un contenido de caroteno >4000 ppm. Estas palmas están siendo multiplicadas para producir un aceite farmacéutico de alto grado en carotenos. Los resultados de una serie de experimentos relacionados con Fertilizante x progenie, densidad x progenie, medio ambiente (costero, interior, turba) x progenie han demostrado que es posible seleccionar progenies que se adaptan a un medio ambiente específico o general, para maximizar la rentabilidad. Con el rápido desarrollo en el campo del cultivo de tejidos y la ingeniería genética de la palma de aceite, se vislumbra que para el año 2020 será el aceite vegetal dominante en el mundo.

* Ponencia presentada en la XII Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite. "Retos y oportunidades para la Palma de Aceite". 3 al 5 de septiembre de 1997. Cartagena de Indias, Colombia.
Traducido por Fedepalma. La copia en inglés se encuentra en el Centro de Información de Fedepalma.

1. Palm Oil Research Institute of Malaysia - PORIM. P.O. Box 10620, S0720 Kuala Lumpur, Malaysia.

SUMMARY

In oil palm breeding, the main emphasis has been oil yield. The oil yield has increased from 5.0 to 9.0 t/ha/yr (1960-1990) in well managed oil palm plantations. Recently there has been a trend towards more target oriented precision breeding. Current planting material is fast growing at a rate of 40-70cm per year. It is difficult to harvest tall palms. The populations sampled in central region in Nigeria were high yielding and dwarf. These palms are being multiplied to produce high yielding dwarf planting material (PS1) for the future. Palm oil solidifies at low temperature and therefore is not amenable for use as salad dressing and cooking oil in temperate countries. Within the Nigerian, Cameroon and Zaire collections, there are a number of palms producing crude palm oil (CPO) exceeding iodine value (IV) of 60. With further fractionation of CPO, the IV could reach close to 70 in the olein fraction. With this IV, it would be possible to market palm olein as salad and cooking oil in temperate countries. Copra and palm kernel are important sources of lauric oil which is the main feedstock for the oleochemical industry. It is possible by using the recent oil palm germplasm collections to increase the kernel content in a bunch from 6 to 12%. Economic analysis shows that it is profitable to maximize the kernel content in oil palm planting materials. There is potential to extract pure *Elaeis oleifera* oil for pharmaceutical purposes. The *E.oleifera* populations from Central America and Colombia have high iodine value (>90) and some of the palms have carotene content >4000ppm. These palms are being multiplied to produce pharmaceutical grade high carotene oil. Results from a number of experiments involving fertilizer x progeny, density x progeny, environments (coastal, inland, peat) x progeny have shown that it is possible to select progenies adapted to a particular or general environment to maximize profits. With the rapid developments in the field of oil palm tissue culture and genetic engineering, it is envisaged that palm oil will be the dominant vegetable oil in the world by the year 2020.

Palabras Claves: Palma de aceite, Mejoramiento, Aceite de palma, Productividad, Clones, Características Agronomicas, Biotecnología.

INTRODUCCIÓN

La palma africana de aceite (*Elaeis guineensis*) es el cultivo con el más alto contenido de aceite en el mundo. El promedio de producción es de 4,51 de aceite de palma, 0,51 de palmiste y 0,451 de torta de palmiste/ha/año. Vale la pena anotar que una hectárea de tierra sembrada con palma de aceite puede producir tanto aceite comestible como 10 hectáreas de soya. Puesto que la disponibilidad de tierra arable está disminuyendo a nivel mundial, no hay duda de que los aceites de palma y palmiste serán la fuente más importante de aceites comestibles, para la creciente población humana en el mundo.

En 1996, la producción de aceites y grasas fue de 95,1 millones de toneladas de las cuales el aceite de palma ocupó el segundo lugar y respondiendo por el 16,1% de la producción total. Es el líder en el mercado de exportaciones y constituye aproximadamente el 39,8% del comercio mundial de aceites y grasas. Para el año 2020, se espera que la exportación de aceite de palma aumente a 32 millones de toneladas, lo cual

representará el 48% del comercio de aceites y grasas (Anónimo 1996).

Se ha calculado que las siembras nuevas y la renovación de cultivos al año en el mundo es de 400.000 ha/año. La mayor parte de los cultivos está concentrada en Indonesia, con 200.000 ha/año, Malasia, con 150.000 ha/año y otros países, con 50.000 ha/año (Rajanaidu et al. 1995). Se ha calculado que existe una demanda anual de cerca de 120 millones (400.000 ha x 300) de semilla de palma de aceite en el mundo. El mayor volumen de semillas se produce en Indonesia, Malasia, Costa Rica y Papua Nueva Guinea. Hasta hace poco, la producción de aceite constituía el énfasis del mejoramiento de la palma de aceite. Actualmente existe la tendencia hacia un mejoramiento orientado con objetivos más precisos y el presente trabajo describe los avances más recientes.

MEJORA DEL RENDIMIENTO

Desde 1960, los mejoradores de palma de aceite han logrado aumentar el rendimiento de aceite del

material de siembra DxP. En la Tabla 1 aparece el comportamiento de varios materiales *tenera* de 1962 a 1988 (Lee y Toh 1991; Lee 1996; Mukesh y Tan 1996). El rendimiento de aceite ha aumentado de casi 5 t/ha/año a 9,6 t/ha/año, lo cual representa un incremento anual del 3,6% ó 0,2 t/ha/año.

El comportamiento del material DxP anteriormente mencionado se basa en las palmas *Deli dura* que se derivaron de las cuatro palmas plantadas en Bogor en 1848. Por lo tanto, la base genética de las actuales *Deli dura* es extremadamente estrecha y el nivel de variación aditiva en esta población es bajo y la mayor parte de la variabilidad genética presente no era aditiva (Thomas et al. 1969). Existe una necesidad urgente de ampliar la variabilidad genética de las *Deli dura* con germoplasma exótico de palma de aceite (Rajanaidu 1994).

RECIENTES DESARROLLOS EN EL MEJORAMIENTO DE LA PALMA DE ACEITE

Los mejoradores de palma de aceite cuentan con nuevos avances y herramientas para producir nuevos tipos de materiales de siembra para incrementar la productividad de la palma de aceite y afrontar futuros desafíos. El uso de los recursos genéticos de la palma de aceite para el mejoramiento, la explotación de la interacción genotipo x medio ambiente, la propagación clonal de palmas de aceite élite mediante el cultivo de tejidos, la ingeniería genética de las palmas de aceite, la construcción de mapas de ligamientos genéticas y el mejoramiento para los cambios climáticos, como temperatura alta y CO₂ podrían tener un impacto sobre el mejoramiento de la palma de aceite en un futuro.

Tabla 1. Comportamiento en el rendimiento de aceite de palma de materiales de siembra DxP.

Material	Año de Siembra	No. de progenies	RFF t/ha/año	A/R (%)	Rendimiento proyectado de aceite [t/ha/año]
DD x CI	1962	32	22,0	22,2	4,9
DD x UAC	1962	15	24,6	20,6	5,1
DD x SP	1962	6	21,1	23,0	4,9
DD x AVROS	1964	22	31,0	23,5	7,3
DD x AVROS	1968	16	31,1	22,1	6,9
DD x AVROS	1970	29	31,6	24,2	7,6
DD x AVROS	1979	5	34,5	25,8	8,9
DD x Dy-AVROS	1979	10	33,3	25,8	8,6
DD x Yangambi	1988	66	34,9	25,9	9,6

Fuente: Lee y Toh 1991; Lee 1996; Mukesh y Tan 1996.

Recursos genéticos de la palma de aceite y desarrollo de nuevos tipos de materiales de siembra

Los cultivos de árbol como el caucho, la palma de aceite y el cacao, se han convertido en empresas agrícolas importantes en lugares distantes a sus centros de diversidad. Actualmente, el Sureste Asiático (Malasia e Indonesia) es el principal productor de palma de aceite. El desarrollo de la palma en Africa Occidental, centro de la distribución natural de la palma de aceite, está estancado desde 1960.

El exitoso mejoramiento del material de siembra de la palma de aceite depende, en gran parte, de la disponibilidad de variabilidad genética de varias características de interés en los progenitores. El actual mejoramiento de la palma de aceite depende principalmente de las palmas *Delidura* derivadas de las cuatro plántulas Bogor plantadas en 1848, en Java, Indonesia, como una fuente de palmas femeninas (Rajanaidu y Jalani 1996; Rosenquist 1986). La fuente de material masculino, *pisifera*, en el mejoramiento de palma de aceite se limita a unas pocas palmas. La mayor parte de los productores de semillas utilizan polen de AVROS, el cual se origina en la famosa única palmatenera "Djongo", en Eala,Zaire. Las otras fuentes importantes de *pisifera* son 27^B, La Mé, WT (32.3005), Yangambi y Camerún (2311). También existen *pisifera* intro, tales como URT (*Deli dura* x Yangambi), la serie HRU 4 (*Deli dura* enana x 27^B x AVROS) que aparecen caracterizadas en forma prominente en la producción de semilla DxP en Malasia.

La estrecha base genética de los materiales para el mejoramiento de la palma de aceite ha estorbado el progreso genético de la palma de aceite. En 1973, el Instituto Malayo de Investigación y Desarrollo Agrícola (MARDI) y el Instituto Nigeriano para la Investigación sobre Palma de Aceite (NIFOR) buscaron sistemáticamente germoplasma de palma de aceite en Nigeria. Posteriormente, en 1979, estas colecciones se transferieron al Instituto Malayo de Investigación sobre Aceite de Palma (PORIM). Además, entre 1984 y 1996, los científicos del PORIM colectaron germoplasma de *E. guineensis* en Camerún, Zaire, Tanzania, Madagascar, Angola, Senegal, Gambia, Guinea, Sierra Leona y Ghana; de *laf. oleífera* (H.B.K.) Cortezen Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá. Colombia. Surinam y Brasil; y palmas económicas como *Jessenia*, *Oenocarpus*, *Orbignya* y *Bactris* en Colombia, Costa Rica, México y Perú. El PORIM ha reunido la más grande colección de

germoplasma de palma de aceite en el mundo, la cual cubre alrededor de 1.000 ha (Rajanaidu 1994).

La colección nigeriana original se evaluó entre 1982 y 1987 para rendimiento de racimos de fruta fresca, contenido de aceite y palmiste de los racimos, altura, composición de ácidos grasos, parámetros fisiológicos (índice de cosecha) y el censo de flores (relación sexual).

Desarrollo de materiales de siembra enanos con alto rendimiento (PSD)

Los materiales genéticos de esta colección suministraron genes valiosos para alto rendimiento de aceite, enanismo y aceite insaturado (alto índice de yodo). Algunas de las palmas nigerianas del PORIM tienen un gran potencial, puesto que ellas podrían producir entre 10 y 12 t aceite/ha/año, lo cual podría duplicar el rendimiento actual de 5-6t (Tabla 2). Estas palmas son bajas, con un incremento de la altura de sólo 20-25 cm/año, comparado con los 45-75 cm/año de los actuales materiales de siembra.

Algunas *teneras* nigerianas élite (Tabla 3) fueron sometidas a pruebas de progenie con sub-poblaciones actuales de Deli *dura* de Banting. IRHO, Elmina y Ulu Remis. Los resultados demostraron que los rendimientos en la segunda/tercera cosecha oscilaron entre 6,2 y 7,81 aceite/ha/año. La *tenera* nigeriana 1928 (14-05) se combinó bien con las *duras* de Banting y Elmina para dar rendimientos de aceite hasta de 7,8t

ha/año. Algunos de estos cruzamientos fueron un 30% más enanos que el material DxP normal. Estas palmas son más fáciles de cosechar y son más dóciles a la mecanización.

También se identificaron *duras* enanas y con alto rendimiento en la colección nigeriana. Estas se encuentran en pruebas de progenie con las *teneras/pisíferas* nigerianas enanas (Tabla 4).

Desarrollo del materiales de siembra para producir más aceite de palma líquido (PS2)

El aceite de palma es semisólido a temperatura ambiente (28C) pero se solidifica a temperaturas más bajas. El aceite de palma crudo se puede fraccionar en 70% de oleína líquida y 30% de estearina sólida. La estearina es difícil de comercializar y se vende a un

Tabla 2. Palmas *tenera* nigerianas de alto rendimiento del PORIM.

Ensayo No.	Familia	Palma No.	Aceite/palma/año [kg]	Aceite/ha/año [t]	Altura cm/año
0,149	28,17	12724	83,8	12,1	23,1
0,149	19,11	12279	75,9	11,2	21,5
0,149	13,05	12094	76,2	11,2	24,0
0,150	16,21	4352	70,3	10,4	24,9
0,150	19,13	3759	71,5	10,5	22,5
0,151	14,03	128	59,0	8,7	25,7
0,149	12,01	2577	62,4	9,2	19,0
0,149	12,01	2704	62,7	9,2	17,5
0,149	12,01	11525	64,3	9,5	14,0
Material de siembra actual				5,00	45-75

Tabla 3. Resultados de la Prueba de Progenie de Deli *dura* x *Tenera* nigeriana (segundo/tercer año de cosecha).

Cruzamiento	Pedigrí	RFF [kg/palma/año]	A/R [%]	RFF [t/ha/año]	Aceite [t/ha/año]
E34	CCL 86/149 x 1928 [14-05] Banting x NT	183,2	30,5	24,7	7,5
F8	ARO 138 x 0.151/128 [14-03] IRHO x NT	197,9	23,8	26,7	6,4
F12	CM10 x 1928 [14-05] Elmina x NT	203,0	29,6	27,4	7,8
F21	ARK x 150/1931 [19-15] IRHO x NT	206,8	26,5	27,9	7,4
E23	FK 41 x 150/3207 [19-06] UR x NT	180,2	26,3	24,3	6,4
E25	FK 40 x 150/3207 [19-06] UR x NT	186,2	25,5	25,1	6,4
E27	GA27 x 150/1791 [18-08] UR x NT	177,5	28,7	24,0	6,9
E29	FR 48 x 2793 [09-03] UR x NT	182,1	25,1	24,6	6,2
E41	CEC 181 x 1928 [14-05] Banting x NT	200,0	28,9	27,0	7,8

Tabla 4: Características de las palmas madre *dura* enanas nigerianas del PORIM.

Palmas	Progenie	Rendimiento de RFF (82-86) (kg/palma/año)	Incremento de la altura (cm/año)
0.149/13021	2604	204,7	39,0
0.149/6235	1802	217,4	22,6
0.149/6010	1611	226,2	32,6
0.149/11106	4511	207,4	39,0
0.149/4113	1802	211,5	30,7
Materiales de siembra actuales			45-75

precio más bajo. Al incrementar el índice de yodo (IY), que es una medida de la insaturación, es posible mejorar la oleína y al mismo tiempo reducir la proporción de estearina.

En un grupo de palmas nigerianas *dura* y *tenera* ha mostrado un índice de yodo de más de 60, después de probar aproximadamente 3.000 palmas para determinar la composición de ácidos grasos (CAG). En la Tabla 5 aparece el nivel de variación de la CAG en el germoplasma nigeriano. *Lasduras y teneras* nigerianas con alto índice de yodo (0.151/128T) se autofecundaron y las progenies se sembraron en el ensayo 0.282 del PORIM. Las progenies autofecundadas heredaron el alto índice de yodo de los progenitores, como aparece en la Tabla 6. La variación dentro de las progenies autofecundadas mostró que el aceite crudo de algunas de palmas superaba un índice de yodo de 70 (Rajanaidu et al. 1996).

Las *duras* y *teneras* nigerianas con alto índice de yodo se sometieron a pruebas de progenie con las actuales *teneras/pisíferas*. Aunque solamente un progenitor de alto IY fue incluido en el cruzamiento, las progenies mostraron que el IY se acercaba a 60 (Tabla

Tabla 5: Variación de la Composición de Ácidos Grasos (%) en el Germoplasma nigeriano.

Ácido Graso	Población nigeriana		DxP Actual	
	Promedio	Rango	Promedio	Rango
C16:0	38,6	27,4 - 54,8	44,0	41,8 - 46,8
C18:0	6,2	7,4 - 12,6	4,5	4,2 - 5,1
C18:1	41,8	27,7 - 55,9	39,2	37,3 - 40,8
C18:2	10,8	6,5 - 17,6	10,1	9,1 - 11,0
Índice de yodo	54,7	43,8 - 69,8	53,3	51,0 - 55,3

C16:0 - Palmítico C18:1 - Oleico
C18:0 - Estearico C18:2 - Linoleico

Tabla 6: Índices de yodo de progenitores nigerianos seleccionados y sus progenies (Rajanaidu et al. 1996).

Progenitores	Índice de Yodo	Código Progenie	Índice de Yodo (Medias Progenies)
0.151/814	61,4	PK 486	61,4
0.151/146	65,4	PK 488	60,0
0.151/1861	61,4	PK 591	61,9
0.151/305	61,4	PK 543	59,0
0.151/971	64,4	PK 549	60,8
0.151/48	61,4	PK 515	64,2
0.151/903	63,9	PK 533	59,5
0.151/1662	66,4	PK 597	58,8
0.151/618	61,2	PK 507	64,6
0.151/128	63,4	PK 540 (1403)	61,6
Material de siembra comercial DxP			52,0

7). Los cruzamientos con 0.151/128T (*teneras* de alto IY) han mostrado un IY alto en sus progenies. Lapisifera de estos cruzamientos y las autofecundaciones 128T constituirán una fuente importante para producir semillas DxP con alto índice de yodo.

Tabla 7. Composición de ácidos grasos de las *duras* nigerianas con alto índice de yodo x *teneras* de la industria (Rajanaidu et al 1996).

Cruzamiento	Tipo	Promedio de la progenie				Valores parentales		
		IY	C18:1 oleico	C18:2 linoleico	No. análisis	IY	C18:1	C18:2
0151/1662 x 0126/12	DxT	59,0	37,4	15,1	4	66,4	47,4	14,0
0151/971 x 0127/13	DxT	-	-	-	-	-	-	-
0151/128 x 0126/13	TxT	57,7	41,1	12,5	5	63,4	42,1	15,0
0.151/1662 x 0127/13	TxT	60,5	41,2	13,9	3	-	-	-
0.151/971 x 0126/12	DxT	59,8	42,7	12,8	4	64,4	49,1	12,0
0.151/128 x 0127/13	TxT	59,5	42,0	13,0	4	-	-	-
0.151/971 x 0126/37	DxP	57,7	39,9	13,1	5	-	-	-
0.151/128 x 0126/37	TxP	59,4	43,3	12,5	5	-	-	-
0.151/1662 x 0126/37	DxP	59,3	36,2	15,7	2	-	-	-
52/1 x 0127/33 (control)	DxP	56,3	39,7	12,3	4	-	-	-

En la Tabla 8 aparecen el rendimiento de racimos de fruta fresca (RFF) y los datos sobre el análisis del racimo de los cruzamientos en los cuales están involucradas las *duras* y *teneras* nigerianas con alto índice de yodo. Los rendimientos de RFF de algunos de los cruzamientos se acercan al testigo DxP. Vale la pena anotar que la relación aceite a racimo (A/R) es de más del 28% en algunos cruzamientos. A diferencia de algunos cruzamientos híbridos interespecíficos con *E. oleífera*, las progenies nigerianas con alto índice de yodo no han mostrado ningún problema de esterilidad. El aceite de palma crudo con alto índice de yodo producirá una mayor proporción de oleína que de estearina. La fracción de oleína en el APC se vende a un precio más alto comparado con el de la estearina, como se dijo antes.

Desarrollo del material de siembra con alto contenido de palmiste (PS3)

El aceite láurico es una buena fuente de materia prima para la industria oleoquímica. El coco y el palmiste son fuentes importantes de aceites láuricos. La industria oleoquímica se está desarrollando rápidamente en Malasia y es probable que haya una gran demanda de aceites láuricos en un futuro. En el germoplasma nigeriano se observó un nivel considerable de variación para palmiste (Rajanaidu y Jalani 1994). Palmas *dura* nigerianas con alto rendimiento han sido identificadas para producir materiales de siembra con alto contenido de palmiste (Tabla 9) El análisis económico muestra

que es rentable maximizar el contenido de palmiste en el material de siembra de la palma de aceite (Tabla 10).

Extracción de carotenos del aceite de *E. oleífera*

El rendimiento de aceite de la especie *E. oleífera* es extremadamente bajo comparado con el de *E. guineensis*. No obstante, esta especie posee un número de genes deseables para producir aceite insaturado (alto índice de yodo), enanismo y resistencia a las enfermedades.

El nivel de carotenos en *E. oleífera* es cinco veces mayor que en *E. guineensis* (Choo y Yusof 1996). Se ha identificado que palmas individuales con más de 4.000 ppm de carotenos para producir un suplemento alimenticio de carotenos de alto valor farmacéutico (Tabla 11).

Explotación de la interacción genotipo x medio ambiente en palma de aceite

En la palma de aceite se ha detectado la interacción Genotipo x Medio Ambiente para rendimiento y sus componentes, y para los caracteres de calidad del racimo de (Tabla 12) (Rajanaidu et al. 1993).

Kushairi et al. (1996) estudiaron 99 progenies comerciales de DxP con tres niveles de fertilización. Se observaron diferencias significativas entre fertilizantes y

Tabla 8: Resultados del rendimiento de RFF y del análisis del racimo de los cruces *duras* con alto índice de yodo x *teneras* de la industria (oct. 1993-dic. 1995).

Cruzamiento	Tipo	No. Rep.	RFF kg/palma/año	No. racimos Número/palma/año	Peso del racimo kg	No. análisis	Aceite/Racimo %	Peso de fruto %	Fruto/racimo %	Mesocarpio/ Fruto %	Palmiste/ fruto %	Cuesco/ fruto %	ODM %	OWM %
0.151/1662 x 0126/12	DxT	4	103,62	25,55	4,72	6	23,69	7,61	67,93	76,63	11,59	11,77	73,55	45,40
0.151/971 x 0127/13	DxT	2	64,10	14,45	5,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.151/128 x 0126/12	TxT	5	93,41	20,26	4,43	9	26,06	6,91	67,23	78,84	9,66	11,50	75,79	49,25
0.151/1662 x 0127/13	DxT	5	97,28	20,65	4,44	6	23,80	4,64	69,28	80,16	9,11	10,76	72,31	42,81
0.151/971 x 0126/12	DxT	5	119,37	21,05	5,67	8	24,41	8,21	64,79	77,88	10,69	11,43	76,89	48,15
0.151/128 x 0127/13	TxT	5	90,74	19,74	4,25	8	26,50	4,94	68,24	76,20	9,40	14,42	77,12	50,80
0.151/971 x 0126/37	DxP	5	114,03	19,05	5,65	13	25,06	8,67	65,73	79,30	10,40	10,32	77,51	48,05
0.151/128 x 0126/37	TxP	5	101,49	19,27	4,94	8	28,23	7,23	69,16	82,22	8,79	9,00	76,86	49,67
0.151/1662 x 0126/37	DxP	2	65,15	21,66	3,71	1	28,14	8,25	64,61	83,15	8,68	8,18	77,36	52,57
52/1 x 0127/33 control	DxP	4	133,49	20,52	7,92	8	26,26	9,82	67,60	82,84	8,10	9,05	77,88	46,87
S.E. [error estándar]			6,22	-	0,27		1,06	0,55	1,52	1,11	0,58	0,87	0,74	1,20

Tabla 9: Características de las palmas madre *dura* nigerianas con alto contenido de palmiste del PORIM.

Palmas	Progenie	Rendimiento RFF [82-86]	P/F %	P/R%
0.149/7021	3906	168,9	17,7	11,4
0.149/3077	4220	171,2	19,3	12,6
0.149/14376	4401	197,7	17,7	11,4
0.149/1094	4402	162,2	16,2	10,5
0.149/3231	4404	174,8	20,4	13,3
0.149/10702	4405	167,1	17,1	11,1
0.149/10426	4412	189,5	20,0	13,0
Material de siembra actual			8 - 11	5-7

PF Palmiste/fruto

PR Palmiste/racimo

Tabla 10: Retorno teórico (US\$) de 100 TM de racimos con frutos que contienen 5, 7 y 10% de palmiste/racimo (P/R)

	% palmiste/racimo		
	5	7	10
	TM por 100 TM de racimos		
Fruto a racimo	65	65	65
Mesocarpio/fruto	82,31	79,24	74,62
Cuesco/fruto	10,00	10,00	10,00
Palmiste/fruto	7,69	10,76	15,38
Aceite/racimo	26,75	25,75	24,25
Retorno US\$			
Aceite @ 366,60/MT	9.806,55	9.439,95	8.890,05
Palmiste @ 263,00/MT	1.315,00	1.841,00	2.630,00
Total	11.121,55	11.280,95	11.520,05

Tabla 11. Nivel de carotenos en *E. guineensis*, *E. oleifera* y sus híbridos.

Especie	Nivel total de carotenos (ppm)
<i>E. guineensis</i> (E.g)	500 - 700
<i>E. oleifera</i> (E.o)	4.300 - 4.600
Híbridos (E.g. x E.o.)	1.250 - 1.800

los genotipos x fertilizante para racimos de fruta fresca y sus componentes.

En un ensayo de fertilización adelantado por Ahmad Tarmizi et al. (1996), algunas progenies respondieron en forma diferente a los tratamientos con P y K, especialmente en lo que se refiere al peso de la nuez y las relaciones mesocarpio a fruto (M/F) y cuesco a fruto (C/F).

Estos y otros estudios indican que es posible seleccionar progenies para un sitio específico o para un

regimen de fertilizante. En esta forma es posible incrementar la productividad de la palma y reducir el costo.

Clones de palma de aceite

Actualmente, los materiales de siembra de palma de aceite, o sea las semillas DxP, son heterocigotos. El objetivo del cultivo de tejidos de la palma de aceite es propagar las palmas élite de alto rendimiento en grandes cantidades y, por tanto, aumentar el rendimiento en un 30%. También es posible seleccionar y fijar en palmas individuales muchos atributos deseables, como baja estatura, alto contenido de carotenos, alto índice de cosecha, etc.

Una evaluación de clones de palma de aceite a gran escala ha demostrado que existen algunas dificultades con el método de cultivo de tejido, especialmente porque producen flores con un recubrimiento anormal (Corley et al. 1986). Además, el método actual de cultivo de tejidos se ve limitado por la baja tasa de éxito en las etapas de formación de callo y de embriogénesis. No todos los embrioides formados van a germinar y proliferar con éxito en tejidos poliembriogénicos (PE). La técnica actual depende en gran parte en cultivos poliembriogénicos para la producción de brotes. Varios informes han señalado que los cultivos que se mantienen durante períodos largos muestran una alta frecuencia de anomalías. Es importante mejorar las diversas etapas del proceso del cultivo de tejidos para producir un número razonable de plantlets normales. También es importante anotar que la iniciación del callo y la embriogénesis están muy influenciadas por los antecedentes genéticos de los ortets (cabezas de clon) y por la eficiencia en la selección de los mismos.

Tabla 12. Interacción genotipo x medio ambiente en la palma de aceite para de RFF, NOR y PPR* (84-87).

Fuente	Grados de libertad	PPR ms	NOR ms	RFF ms
Progenie (P)	32	16,5*	65,2**	4.360,7*
Sitio (S)	5	3.04,4	5.806,2	316.386,0
Rep/Sitio (R)	6	160,4	258,8	72.881,0
P x S	160	9,3*	22,1*	2.889,1*
P x R	192	6,8(NS)	17,4**	2.428,1**
Plántulas	1.426	6,9	15,1	1.966,1
Promedio		10,5	14,3	142,7
Coef. Var.		24,9	27,3	31,1

RFF = Racimos de fruto fresco

NOR = Número de racimos

PPR =Peso promedio del racimo

* Significativo (5%)

** Altamente significativo (1 %)

NS No significativo

Un número de clones se evaluó en suelos del interior (Soh et al. 1995). En términos del rendimiento de racimos de fruta fresca, solamente 3 de 12 clones se comportaron mejor que el testigo DxP (Tabla 13). Con respecto a la relación aceite/racimo (A/R) todos los clones fueron mejores que el testigo y el promedio de todos los clones fue 9% más alto que la del testigo DxP. Esto era de esperarse puesto que la heredabilidad para A/R es mucho más alta que para racimos de fruto fresco. A pesar de la alta relación A/R en los clones, sólo cuatro se comportaron mejor que el testigo DxP en términos de rendimiento total de aceite por hectárea. Dos clones (6/12 y 12/84) tuvieron un 30% más de rendimiento de aceite que el testigo DxP.

El método de cultivo de tejidos es altamente mutagénico en su naturaleza. Tentativamente se puede suponer que el cultivo de tejidos induce un efecto global en el genoma. Por lo tanto, el rendimiento y otras características cuantitativas es probable que se alteren además de la característica del recubrimiento. Esto implica que es importante la investigación sobre la detección temprana de la variación de los ramets y las estrategias para reducir el nivel de anomalías en palma de aceite. Una serie de proyectos ha sido contratados con importantes institutos de investigación del mundo para desarrollar los marcadores moleculares relacionados con las anomalías clonales.

El prospecto inmediato de la técnica del cultivo de tejidos es producir semillas biclonales. Con este método, los progenitores de los cruzamientos élite DxP se multiplican para establecer semilleros. Es necesario

verificar la estabilidad genética de los clones *dura* y *pisifera* antes de utilizar esta técnica a gran escala. Lo anterior se puede lograr mediante la autofecundación de los clones *dura* o *pisifera* (si son fértiles) y observar la expresión de anomalías. Esta estrategia es comparable con la explotación de la habilidad combinatoria específica en el esquema de selección recurrente recíproca. El método de producción de semilla biclonal no sufre por la falta de polen para la autofecundación continua de las palmas parentales, como ocurre en las *pisifera* La Mé, L2T.

Ingeniería genética de la palma de aceite

Actualmente existen una serie de herramientas moleculares que permiten insertar genes nuevos o extraños en la palma de aceite. El método convencional de hibridación y selección tiene varias limitaciones, como que los genes deseables pueden estar ligados con genes menos deseables y son co-heredados. Además, la clasificación y selección de nuevos genotipos genéticamente estables es extremadamente lenta. La nueva tecnología recombinante provee un camino nuevo para superar estas limitaciones. Además, también es posible incorporar genes deseables de otros fuentes, tales como microorganismos, animales y plantas.

Uno de los objetivos del programa de ingeniería genética de la palma de aceite del PORIM es desarrollar palmas de aceite transgénicas para producir un aceite con las siguientes características:

Tabla 13. Comportamiento de clones de palma de aceite en suelos del interior en Malasia.

Clon	RFF/palma/año (kg) Julio 92-junio 93	Aceite/Racimo (%)		Rendimiento de aceite	
		Agosto 92-Mayo 93 Ramet	Ortet	kg/palma/año [kg]	[% DxP]
1/3	66,0	28,2	26,5	18,7	95
2/7	57,0	27,3	27,9	15,5	79
3/12	70,0	27,0	28,4	18,9	96
5/15	59,4	29,3	28,0	17,3	88
5/17	56,1	28,4	28,0	15,9	81
5/14C	71,7	30,3	28,0	21,8	111
6/12	80,9	32,0	34,2	26,0	132
7/26	58,8	29,3	32,1	17,3	88
9/28	63,8	25,9	32,3	16,5	84
10/39	49,7	29,5	31,6	14,8	75
12/84	86,6	30,3	30,7	16,3	134
11/283	78,8	28,9	33,5	22,4	114
DxP testigo [Deli x Avros]	77,4	25,7		19,7	100
		R = 0,4			

Fuente: Soh et al. 1995.

- a) Índice de yodo (IY) de más de 72;
- b) Composición de ácidos grasos de 8-13% (o menos) de ácido palmítico y 70-80% (o más) de ácido oleico;

El aceite de palma que se produce actualmente tiene un 44% de ácido palmítico (C16:0) y 39% de ácido oleico (C18:1)

La capacidad de alterar la composición del aceite de palma requiere (i) identificación de genes de interés (ii) disponibilidad de un método para introducir genes de interés en las células de la planta (iii) comprensión de la regulación y expresión de los genes de interés y (iv) regeneración o multiplicación de las palmas transgénicas.

Como un primer paso, es muy importante tener un entendimiento de la bioquímica de la vía de la síntesis del aceite. En el caso de la palma de aceite se han identificado dos enzimas claves como responsables de el rendimiento de altos niveles de ácido palmítico en palma de aceite (Sambanthamurithi et al. 1996). Estos son:

- a) Una palmitoil APC tioesterasa muy activa;
- b) Una tasa limitante de la B-ketoacil APC sintasa II

Es necesario aislar los genes que producen estas dos enzimas. Es importante que la alteración propuesta para la composición de ácidos grasos ocurra en el momento y en el lugar correctos.

La técnica de la ingeniería genética de la palma de aceite requiere de un sistema efectivo de entrega para introducir genes extraños de interés dentro de la palma. Un considerable esfuerzo se está dedicando para perfeccionar la técnica de transferencia del ADN utilizando el disparo de partículas en palma de aceite.

Selección asistida con marcadores y construcción de mapas de ligamientos genéticos en palma de aceite

La falta de marcadores moleculares es una de las desventajas para realizar los estudios genéticos en palma de aceite. Estos marcadores moleculares se

están desarrollando con el uso de las técnicas de RFLP, RAPD y AFLP, para estudiar las huellas de los genotipos, incluyendo los clones de palma de aceite, diversidad genética de las poblaciones naturales de palma de aceite, y para desarrollar el mapa de ligamientos RFLP (Cheah y Wooi 1995; Mayes et al. 1996).

Las huellas genéticas del ADN de la palma de aceite se pueden utilizar para verificar información del pedigrí, progenitores del mejoramiento y legitimidad de la progenie. Después de la introducción del gorgojo polinizador, *Elaeodobius kamerunicus* (Faust), la pureza de las semillas DxP se vio afectada por la contaminación de *dura* en Malasia. Algunas de las siembras comerciales de 1983-1992 fueron corrompidas por una contaminación de *dura* hasta del 60%. Es de gran ayuda, si es posible tamizar las plántulas DxP en el vivero mediante un método de bajo costo y alta producción con el fin de verificar la pureza de las plántulas antes de la siembra definitiva en el campo.

Los marcadores del RFLP ADN son de gran utilidad para la identificación de diversos clones para efectos de ser patentados, al igual que para el estudio de los ortets y su relación clonal. En las etapas iniciales del cultivos de tejidos se tomaron muestras de las raíces de palmas élite con el fin de inducir las a la formación de callo y a embriogénesis. Los marcadores ADN fueron utilizados en

forma efectiva para estudiar los errores en el muestreo de la raíz y la inconformidad entre el ortet y su clon.

Los marcadores RFLP y RAPD se han utilizado en forma extensa para estudiar el nivel de variación en muestras de las diversas poblaciones naturales de palma de aceite en África y Suramérica. Los materiales se tamizaron en el vivero de manera que fuera posible optimizar la siembra definitiva de las colecciones, sobre la base de la magnitud de la variación dentro y entre las poblaciones (Mayes et al. 1996; Shah et al. 1994). Mayes et al. (1996) elaboraron un mapa de ligamientos de RFLP consistente de más de 100 locus de RFLP desarrollados en una población de mapeo F₂ de 98 individuos. Esta población también se utiliza para posicionar el gen del grosor del cuesco (Sh), y los autores también pudieron identificar un marcador alrededor a 8cM del Sh. El PORIM está desarrollando

*El
rendimiento
de aceite de
palma es 10
veces más
alto que el de
la soya.*

un mapa similar. En palma de aceite existe un número de características monogénicas, como el gen *virescens* (Hartley 1988), el (los) gen(es) de fertilidad de *pisífera* (Wonkyi-piah 1987), la resistencia al *Fusarium* fsp. *elaedis* (de Franqueville y de Greef 1987) y resistencia a la enfermedad de la corona (Blaak 1970). que pueden ser posicionados en el mapa de ligamientos RFLP de la palma de aceite. En un futuro se podría considerar la inclusión de los rasgos cuantitativos en el mapa, tales como el rendimiento de racimos y la relación aceite a racimo.

Cambios climáticos y el mejoramiento de la palma de aceite

Se espera que las emisiones de CO₂, en gran parte como resultado de la combustión, dupliquen los niveles atmosféricos hasta 650-700 ppm para mediados del siglo XXI. Esto está relacionado con un aumento de la temperatura ambiental aproximadamente de 4C (Harwood 1994). Es difícil estudiar este "efecto de invernadero" en los cultivos perennes como la palma de aceite. Además del rendimiento de aceite, el metabolismo de los lípidos podría verse afectado por el aumento en la temperatura. Los resultados experimentales demostraron que la temperatura (24C en lugar de 20C)

ocasionó un incremento del linoleato a expensas del oleato.

CONCLUSIONES

La población mundial esta creciendo a una tasa de 100 millones por año. Por consiguiente, hay una creciente demanda de aceites vegetales, especialmente de aceite de palma. La oferta de este aceite está asegurada (por tratarse de un cultivo perenne), el precio es competitivo y la productividad por hectárea es muy alta. El rendimiento de aceite de palma es 10 veces más alto que el de la soya. Existen muchas nuevas herramientas genéticas que son el conducto para cambios más drásticos en lo que se refiere al uso del aceite de palma para fines culinarios, oleoquímicos y farmacéuticos. Se espera capturar cerca del 50% del comercio de aceites y grasas para el año 2020. Por lo tanto, la futuro de la industria de la palma de aceite es muy prometedora a nivel mundial.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Director General del PORIM por su autorización para presentar el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- ANÓNIMO. 1996. Oil World Annual 1996. ISTA Mielke GMBH. Hamburg. Germany.
- AHMADTARMIZI. M; MOHDTAYEB. D; MAZLI ESWA; ZIN, Z.Z. 1996. The effect of P and K fertilizers on bunch components of oil palm progenies planted on peat. In: Oil and Kernel Production in Oil Palm - a global perspective. International Society for Oil Palm Breeders (ISOPB).
- BLAAK, G. 1970. Epistasis for crown disease in the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Euphytica (Holanda) v.19, p.22-24.
- CHEAH. S.C.; WOOL. K.C. 1995. Application of molecular markers techniques in oil palm tissue culture. In: V. Rao. I.E. Henson and N. Rajanaidu (Eds.) Recent Developments In Oil Palm Tissue Culture And Biotechnology Proceedings. PORIM. Kuala Lumpur. p 163-170.
- CHOO, Y.M.; YUSOF, B. 1996. *Elaeis oleífera* palm for the pharmaceutical industry (May 1996). PORIM TT No. 42. PORIM Information Series (Malaysia).
- CORLEY. R.H.V.; LEE, OH.; LAW, I.H.; Wong C.Y. 1986. Abnormal flower development in oil palm clones. The Planter (Malasia) v.62, p.233-240.
- De FRANQUEVILLE. H.; De GREEF. W. 1987. Hereditary transmission of resistance to vascular wilt of the oil palm: facts and hypotheses. In: A. Halim Hassan; P.S. Chew; B.J. Wood; Pushparajah. E. (Eds.). International Oil Palm Conference, Progress and Prospects. Proceedings. PORIM, Kuala Lumpur. p. 118-129.
- HARTLEY. CW.S. 1988. The Oil Palm. 3d Edition. Longman Scientific and Technical, Harlow, U.K.
- HARWOOD, J.L. 1995. Recent environmental concerns and lipid metabolism. In: J.C. Kader and P. Mazliak. (Eds). Plant Lipid Metabolism. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. p.361-368.
- KUSHAIRI. A.; RAJANAIDU, N.; JALANI, B.S. 1996. Effects of genotype x fertilizer interaction on bunch yield, oil and kernel production in oil palm. In: Oil and Kernel Production in Oil Palm - A global perspective. International Society for Oil Palm Breeders (ISOPB).
- LEE. C.H.; TOH, P.Y. 1991. Yield performance of Golden Hope DxP planting materials (1991). The Planter (Malasia) v.47, p.317-324
- LEE, C.H. 1996. Yield potential of Golden Hope DxP oil palm planting materials. Paper presented at the Seminar on Sourcing Oil Palm Planting Materials for Local and Overseas Joint-Venture (22-23 July 1996). Asgard Information Services, Malaysia.
- MAYES, S.; JAMES, O; PRICE, Z.; GROVES, L.M., JACK, P.L. CORLEY. R.H.V 1996. Integration of DNA markers into oil palm breeding programmes. In: 1996 PIPOC - Competitiveness for the 21 st Century. P.49-54.
- MUKESH, S.; TAN, Y.P. 1996. An overview of oil palm breeding programmes and the performance of DxP planting materials at United Plantations Berhad. Paper presented at the Seminar on Sourcing Oil Palm Planting Materials for Local and Overseas Joint-Venture (22-23 July 1996). Asgard Information Services, Malaysia.

- RAJANAIDU, N.; JALANI, B.S. 1996. Worldwide production and performance of DxP planting material. Paper presented in 'Sourcing of Oil Palm Planting Material for Local and Overseas Joint Ventures'. Conference organised by ASGARD Information Services held on 22-23rd July 1996. Kuala Lumpur, 60p.
- _____; SOH, A.C.; TEK, J.; MUSA, B.; CHIN, C.W.; YONG, Y.Y. 1996. Performance of Second Generation of PORIM Nigerian Material Evaluated in Malaysia./n: 1996 PIPOC-Competitiveness for the 21 Century.p.32-45.
- _____. 1995. World-wide performance of DxP planting materials and future prospects. *In: Jalani Sukaimi et al. (Eds). Technologies in Plantation - the way forward* PORIM, Kuala Lumpur. p.1-29.
- _____. 1994. PORIM Oil Palm Genebank. PORIM. Kuala Lumpur. 19p.
- _____; JALANI, B.S. 1994. Potential sources of lauric oils for the oleochemical industry. Paper presented at AOCs, World Conference and Exhibition on Lauric Oils, Sources, Processing and Application'. Feb. 20-25 Manila, Philippines.
- _____;RAO,V.;KUSHAIRI,A. 1993.Genotype-environmentinteraction (GE) studies in oil palm (*Elaeis guineensis*) progenies. *In: Genotype - environment interaction studies in perennial tree crops*. PORIM. p.12-32.
- ROSENQUIST, E.A. 1986. The genetic base of oil palm breeding populations. *In: International Workshop on Oil Palm Germplasm and Utilization*. Proceedings. p.27-56.
- SAMBANTHAMURTHI, R.; ABRIZAH OTHMAN; UMI SALAMAH RAMLI .1996. Towards understanding the biochemical factors that control oil composition and quality in the oil palm. Paper presented at the ISOPB Conference on 'Oil and Kernel Production - Global Perspective'. Hotel Istana, 26-27 October 1996, Malaysia.
- SHAH,F.H.;RASHID,O.;SIMONS,A,J.;DUNSDON,A. 1994. The utility of RAPD markers for the determination of genetic variation in oil palm (*Elaeis guineensis*). *Theoretical Applied Genetics (Estados Unidos)* v.89, p.713-718.
- SOH, A.C.; YONG, Y.Y.; HO. Y.W.; RAJANAIDU, N. 1995. Commercial potential of oil palm clones: Early results of their performance in several locations. *In: V. Rao; I.E. Henson; N. Rajanaidu (Eds.). 1993 ISOPB International Symposium on Recent Development in Oil Palm Tissue Culture and Biotechnology. Proceedings*. PORIM, Kuala Lumpur. p.134-144.
- THOMAS,R.L;WATSON,L;HARDONJ.J. 1996. Potential sources of lauric oils for the oleochemical industry. *In: World Conference and Exhibition on "Lauric Oils: Sources. Processing and Application"*. Manila, 20-25 February 1994. Proceedings.
- WONKYI-APPIAH, J.B. 1987. Genetic control of fertility in the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq). *Euphytica (Holanda)* v.36, p.505-511.