

El mejoramiento de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Colombia. Metodología estadística

The oil palm breeding in Colombia. Statistical methods

RICARDO MARTÍNEZ¹ ; IVÁN E. OCHOA C.²; SILVIO BASTIDAS P.³

R E S U M E N

En Colombia es muy importante poder contar con materiales genéticos de palma de aceite de alta producción adaptados a sus condiciones ambientales. En este artículo se presentan los materiales seleccionados provenientes de tres experimentos donde se usaron análisis de componentes principales, análisis de varianza, pruebas de Tukey y análisis de habilidad combinatoria general y específica, así como análisis de conglomerados.

S U M M A R Y

It is very important to produce in Colombia high yielding oil palm genetical materials adapted to the oil palm areas. In this paper we present the selected materials from three experiments. We used principal component analysis, analysis of variance, Tukey test, general and specific combining ability analysis and cluster analysis.

Palabras claves: Palma de aceite, *Elaeis guineensis*, Mejoramiento, Genotipos, Características agronómicas, Material genético, Habilidad combinatoria, Métodos estadísticos.

INTRODUCCIÓN

Colombia bien podría ubicarse entre los grandes productores mundiales de aceite de palma, llegando a competir este renglón de exportaciones, en materia de divisas, con el propio café. Para esto es necesario contar, entre otras cosas, con material genético de alto rendimiento, adaptado a las condiciones ambientales del país. Por esto no se deben desaprovechar los trabajos realizados por instituciones nacionales, tales

como el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), la Corporación Colombiana Agropecuaria (Corpoica) y el Centro de Investigaciones en Palma de Aceite (Cenipalma).

El mejoramiento de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), en Colombia, fue iniciado por Patiño (1948) con un núcleo de palmas sembradas en Palmira, y con las seleccionadas él realizó los primeros cruzamientos controlados en 1946, y para 1947 se sembraron las primeras progenies en la Estación Agroforestal del Pacífico, en el Bajo Calima. Como resultado del proceso de selección, en las progenies del Bajo Calima se desarrollaron los materiales básicos de las poblaciones Tenera y Pisífera en el Centro Regional de Investigaciones (CRI) "El Mira" de ICA, en Tumaco (Nar.).

- 1 Ing. Agrónomo, Ph.D. Profesor Titular. Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá, Colombia
- 2 Biólogo, M.Sc. Fitomejorador. Cenipalma. Apartado Aéreo 252171. Santafé de Bogotá, Colombia
- 3 Ing. Agrónomo, M.Se. Fitomejoramiento CORPOICA. Centro de Investigación "El Mira". Apartado Aéreo 198. Tumaco (Nar.), Colombia

En cuanto al material Dura, las selecciones iniciales se realizaron en las plantaciones de Patuca y la Pepilla, cuyo material corresponde a introducciones hechas por la Fruit Company a través de la Estación Experimental de Lancetilla, en Honduras. Dicha semilla correspondía al tipo de Deli Dura vía Sumatra y que al parecer venía mezclada con material africano (Figueroa y Vallejo 1986).

Con el material de Palmira y Patuca, el antiguo Instituto de Fomento Algodonero (IFA) inició un programa de selección masal y propagación, con el cual se realizaron las primeras siembras a gran escala en la Zona Norte y el Magdalena Medio en la década del 60. Para 1969, el programa de mejoramiento de palma pasó al ICA y los programas de investigación se iniciaron en el CRI "El Mira", La Estación Experimental "La Pepilla", en Aracataca (Mag.), y el CRI "Caribia" en Ciénaga (Mag.).

Para la producción inicial del material Tenera se utilizó el método de selección combinada de los progenitores Dura y Pisífera de Patuca, Calima y El Mira, con base en el comportamiento de las familias y los individuos dentro de cada familia. Inicialmente se importó el polen de Nigeria para la producción de los primeros materiales Tenera comerciales, utilizando las madres Dura seleccionadas de El Mira y Caribia durante los años 1974 y 1982, y a partir de 1995 ya se contó con las palmas Pisífera probadas en El Mira para la producción comercial de semilla Tenera mejorada, tanto para la Zona Occidental como para la Costa Norte y el Magdalena Medio (Bastidas et al. 1993). A partir de 1990, el ICA adoptó el método de selección recurrente con algunas modificaciones, con el fin de aumentar la frecuencia de genes favorables de la población y así incrementar las probabilidades de obtener genotipos superiores.

El propósito central en la selección de la palma de aceite tiene que ver con el aumento de la producción de aceite y almendra por hectárea. Se dispone de una metodología general para el desarrollo del material elite desarrollada por Breure y Bos (1992); sin embargo, la metodología estadística así como algunos aspectos prácticos todavía no es clara.

En este artículo se trató de aplicar la metodología disponible y usada en otros cultivos, para sacarle el

mayor provecho posible a los datos, descartando información redundante. Para esto se usará la información proveniente de varios experimentos llevados a cabo por el ICA en el C.I. "El Mira", en Tumaco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos experimentales

Los datos se obtuvieron de tres ensayos genealógicos (G-3, G-5 y P-13) llevados a cabo en el Centro de Investigación "El Mira" desde 1975 hasta 1985. Para los tres ensayos se tuvieron en cuenta los registros de producción para un período de tres a cinco años y el análisis fisicoquímico de racimos para dos a tres años.

A continuación se presenta el listado de las variables de respuesta para la producción y el análisis de racimo con su respectivo código:

Y_1 = Promedio de número de racimos (MNRAC)

Y_2 = Promedio de peso de racimos (kg) (MPRAC)

Y_3 = Promedio producción/palma/año (MPPALY)

Y_4 = Promedio peso fruto (gr) (MPESOFR)

Y_5 = Promedio de frutos normales/racimo (%) (MFNRAC)

Y_6 = Promedio de frutos partenocárpico/racimo (MFPRAC)

Y_7 = Promedio de fruto total (MFRAC)

Y_8 = Promedio de pulpa/fruto (%) (MPULPA)

Y_9 = Promedio de huesco/fruto (%) (MCUESCO)

Y_{10} = Promedio de almendra/fruto (%) (MALMEN)

Y_{11} = Promedio de aceite en pulpa fresca (%) (MACFRES)

Y_{12} = Promedio de aceite en pulpa seca (%) (MACPSECA)

Y_{13} = Promedio de aceite/racimo (estimado) (%) (MACRACE)

Y_{14} = Aceite más almendra/racimo (%) (MPAYAL)

La última variable corresponde a la suma de los valores del porcentaje de aceite/racimo más la proporción de almendra/fruto expresada en porcentaje por racimo al multiplicar su valor por el porcentaje de frutos normales dividido por 100 ($MPAYAL = MACRACE + MALMEN * MFNRAC/100$). Esta variable no fue incluida para todos los análisis, pero fue tomada en cuenta para resaltar las características de las progenies seleccionadas.

Ensayo genealógico G-5

En este ensayo se probaron 28 cruzamientos y tres autofecundaciones bajo un diseño de bloques completos aleatorizados con 5 repeticiones y con una unidad experimental de 16 palmas de material Dura dentro de una población de Patuca. El objetivo de este ensayo fue la selección de palmas madres para producir semillas comercial, así como la ejecución de programas de intercambio y selección de palmas elite para el siguiente ciclo de selección.

Los materiales usados en los cruzamientos fueron los códigos PA-542D, PA-350D, PA-179D, PA-221D, PA-269D, PA-464D y PA-208D en un dialélico incompleto con sólo tres autofecundaciones correspondientes a los tres últimos códigos enunciados.

El experimento se plantó en abril de 1972, y se cuenta con los registros de producción para los cinco primeros años, así como dos a tres años de análisis de racimo.

Ensayo genealógico G-3

El objetivo de este ensayo fue la selección de Pisífera y Tenera dentro de las mejores familias, para lo cual se realizaron 16 cruzamientos TxT, los cuales se sembraron en un diseño de bloques completos aleatorizados con 5 repeticiones y 36 palmas por unidad experimental, de las cuales se registraron los datos sólo de las 16 centrales. El ensayo se plantó en junio de 1970 y se dispone de los datos de producción para tres años (1974 a 1976) y dos años de análisis de racimos, con un mínimo de 30 racimos/familia sólo para los segregantes tipo Tenera.

Los materiales utilizados incluían los códigos CL-743T, CL-798T, CL-821T, CL-1089Ty CL-1170T de origen Calima, los cuales fueron cruzados en forma de dialélico incompleto.

Los segregantes Pisífera tipo Yangambí de estos ensayos se seleccionaron con base en los registros de producción y análisis de racimos de sus hermanos Tenera, y aunque son de porte muy alto, han sido utilizados como progenitores masculinos para la producción de semillas comercial a partir de 1985.

Como todos estos cruzamientos están conectados por dos o más parentales, en este ensayo se determinaron algunos parámetros genéticos para una más eficiente selección de progenitores Pisífera.

Ensayo genealógico P-13

El objetivo de este ensayo era la selección de palmas progenitoras del tipo Dura Deli en 13 progenies nacionales de Patuca y Pepilla. La siembra se hizo en mayo de 1983, bajo un diseño de bloques completos aleatorizados con 5 repeticiones y 16 palmas por parcela.

Originalmente, la selección debía basarse en la producción de racimos para los años 1987 a 1989, análisis de racimos para dos años, relación de área foliar y nivel de Mg en la hoja 17, pero finalmente estos dos últimos parámetros no se tuvieron en cuenta.

Los materiales usados para los cruzamientos de este ensayo genealógico corresponden a palmas tipo Dura seleccionadas de la Estación Experimental "La Pepilla" y la plantación Patuca, con los códigos PE-586D, PE-625D, PE-630D, PE-665D, PE-687D, PA-241D, PA-315D y PA-464D, las cuales se cruzaron en un diseño dialélico incompleto, donde los tres últimos materiales fueron autofecundados.

Las variables de respuesta usadas fueron las mismas de los otros ensayos genealógicos, sólo que en este experimento se utilizó el promedio de aceite/racimo calculado directamente (MACRAC).

Metodología estadística

Puesto que el número de análisis de racimos no fue homogéneo para todas las progenies de cada ensayo, todos los análisis estadísticos se realizaron con un mínimo de 60 análisis de racimos por progenie (12 ó más registros por repetición), tal como lo recomendaba Breure en una consultoría al programa de mejoramiento de palma del ICA. Sin embargo, puesto que con el anterior criterio se excluían del análisis un porcentaje importante de progenies, los mismos análisis se realizaron con 30 ó más análisis de racimos por progenie (6 ó más registros por repetición), y aunque los resultados se presentan con referencia a este último criterio, se tuvieron


*El objetivo del
ensayo
genealógico
G-5 es la
selección de
palmas
madres para
producir
semillas
comerciales.*


en cuenta ambos análisis para la interpretación de los resultados.

Para el análisis de los datos se usaron varias metodologías estadísticas, comenzando con el análisis de componentes principales (CP) y el análisis de conglomerados (cluster), complementado con la construcción de dendogramas, análisis de varianza y prueba de Tukey.

Dos de los usos importantes del análisis multivariado es el de la reducción de datos o simplificación estructural, sin perder información importante y el de la ordenación y agrupación de los datos.

El análisis de componentes principales tiene que ver con la explicación de la estructura varianza-covarianza mediante unas pocas combinaciones lineales de las variables originales. Este procedimiento busca reducir el volumen de los datos y ayuda en la interpretación de los mismos, siendo además uno de los métodos multivariados más simples.

Para llevar a cabo el análisis de componentes principales se toman p variables aleatorias X_1, X_2, \dots, X_p y se encuentran combinaciones de ellas para producir los índices Z_1, Z_2, \dots, Z_p en forma tal que no se correlacionen. La no correlación de los índices lleva a la medición de diferentes dimensiones de los datos. La mayor variación la presenta Z_1 luego Z_2 , así $\text{var}(Z_1) > \text{var}(Z_2) > \dots > \text{var}(Z_p)$. A los Z se les llama componentes principales. Aunque se requieren p componentes para reproducir el sistema total de variabilidad, a menudo mucha de esa variabilidad se puede explicar por k componentes, donde $k < p$. Los mejores resultados de las componentes principales se obtienen cuando las variables originales están muy correlacionadas, caso en el cual un número relativamente alto de variables se puede reducir a otro conjunto de pocas variables (componentes principales).

El análisis de componentes principales involucra el cálculo de valores propios de la matriz de varianza-covarianza de X , donde S_{ij} es la covarianza de X_i y X_j . Las varianzas de las componentes principales son los valores propios de la matriz S_n . Bajo el supuesto de que $l_1 = l_2 = l_3 = \dots = l_p = 0$, entonces l_i corresponde a la componente principal $Z_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{ip}X_p$.

En particular, $\text{var}(Z_i) = l_i$ y las constantes $a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + \dots + a_{ip}^2$ son los elementos correspondientes al vector propio.

En general, las componentes principales explican toda la variación de los datos originales, aunque siempre se eliminan las componentes que sólo explican una proporción pequeña de la variación de los datos.

Por otra parte, el análisis de conglomerados se usa para establecer el grado de afinidad o cercanía de, por ejemplo, materiales biológicos, tales como los genotipos de un cierto cultivo. Con base en el análisis de conglomerados se pueden construir los dendogramas que permiten expresar gráficamente el grado de la cercanía entre los materiales.

■■■■■■■■■■

*En la selección
de materiales
también se
hace uso de
análisis de
varianza y
pruebas de
comparación
múltiple de
medias.*

■■■■■■■■■■

En la selección de materiales también se hace uso de análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de medias.

Posteriormente, y siguiendo la metodología propuesta por Breure y Bos (1992), se llevan a cabo los análisis de habilidad combinatoria general (HCG) y habilidad combinatoria específica (HCE). Esto con el propósito de seleccionar los mejores progenitores masculinos y femeninos, teniendo en cuenta los efectos genotípicos aditivos de los parentales obtenidos en pruebas de progenie y, además, los efectos de las interacciones de los parentales en tales pruebas.

RESULTADOS

Luego de una revisión de los datos de los diferentes experimentos, con el fin de examinar inconsistencias y depurar la información, se llevaron a cabo los diferentes análisis estadísticos con los siguientes resultados:

Estadísticas simples y correlaciones entre las diferentes variables

El análisis de componentes principales se inició con las estadísticas simples, media y desviación estándar para los tres ensayos (Tabla 1), donde se aprecia que las variables con mayor variación fueron: número de frutos partenocárpicos (Y_6) y producción/palma/año (Y_3). En la Tabla 1, la variable número de frutos partenocárpicos fue transformada a $(Y+0,5)^{1/2}$.

Tabla 1. Estadísticas simples bajo el análisis de componentes principales para un mínimo de 30 análisis de racimo por familia en tres ensayos genealógicos del C.I. "El Mira", Tumaco (Nar.).

Ensayo	Estadísticos	Variables*												
		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃
G-3	Promedios	18,42	8,57	154,10	9,78	61,28	1,46	63,14	75,52	15,98	8,39	49,97	77,53	23,81
	Desv. Est.	2,19	0,96	27,13	1,64	5,89	0,34	6,43	4,40	4,14	0,89	1,75	2,26	2,23
G-5	Promedios	12,57	12,71	156,35	13,99	71,81	1,71	74,47	60,61	30,72	8,67	49,11	73,42	22,25
	Desv. Est.	2,65	1,61	34,85	1,68	1,76	0,42	2,87	1,86	1,23	0,79	1,74	1,39	1,90
P-13	Promedios	7,88	16,88	131,07	-	65,95	1,00	66,52	60,30	32,30	7,40	47,21	76,93	18,89
	Desv. Est.	1,08	2,11	18,72	-	2,21	0,09	2,29	2,48	2,08	0,61	1,92	0,75	0,80

Y₁ = Promedio de número de racimos Y₅ = Promedio frutos norma les/racimo (%) Y₉ = Promedio de cuesco/fruto (%)
 Y₂ = Promedio de peso de racimos (kg) Y₆ = Promedio de frutos partenocárpico/racimo (%) Y₁₀ = Promedio de almendra/fruto (%)
 Y₃ = Promedio producción/palma/año Y₇ = Promedio de fruto total (%) Y₁₁ = Promedio de aceite en pulpa fresca [%]
 Y₄ = Promedio peso fruto (gr) Y₈ = Promedio de pulpa/fruto (%) Y₁₂ = Promedio de aceite pulpa seca (%)
 Y₁₃ = Promedio aceite/racimo (estimado)(%)

Con las matrices de correlaciones para el ensayo genealógico G-5 (Tabla 2) se puede observar que tanto la variable producción/palma/año (MPPALY) como aceite/racimo (MACRACE), almendra/fruto (MALMEN) y frutos normales/racimo (MFNRAC) están muy correlacionadas con la mayoría de las otras variables analizadas, por lo cual se podría esperar que mucha información esté condensada en pocas variables, y de ahí la necesidad de llevar a cabo el análisis de componentes principales, para reducir el número de

variables sin perder información importante.

Componentes principales, análisis de varianza y prueba de Tukey

En la Tabla 3 se presentan los resultados del análisis de componentes principales para los tres ensayos genealógicos, donde se puede observar que para el ensayo G-3 las variables Producción/palma/año (Y₃), Frutos normales/racimo (Y₅), Frutos totales/racimo (Y₇), Aceite en pulpa fresca (Y₁₁) y Aceite/racimo (Y₁₃) son las que condensan buena parte de la información generada, mientras que las variables: Número de racimos (Y₁), Producción/palma/año (Y₃), Frutos totales/racimo (Y₇), porcentaje de almendra/fruto (Y₁₀), Aceite en pulpa seca (Y₁₂) y Aceite/racimo (Y₁₃) se presentan como las variables más importantes en el ensayo G-5. Por su parte, en el ensayo P-13 las variables más relevantes corresponden al: Número de racimos (Y₁), Peso de racimos (Y₂), Frutos totales/racimo (Y₇), Porcentaje de cuesco/fruto (Y₉), Aceite en pulpa seca (Y₁₂) y Aceite/racimo (Y₁₃).

Tabla 2. Análisis de correlación para algunas variables del ensayo genealógico G-5 en el C.I. "El Mira Tumaco (Nar.).

	MPPALY ³	MACRACE ¹³	MALMEN ¹⁰	MFNRAC ⁵
MNRAC ¹	0,81559 (**)	0,45460 (**)	-0,21878 (**)	0,29571 (**)
MPRAC ²	0,41635 (**)	0,00889 (ns)	-0,00018 (ns)	0,02849 (ns)
MPPALY ³	1,0000	0,42964 (**)	-0,19204 (*)	0,29649 (**)
MPESOFR ⁴	0,34989 (**)	0,70970 (**)	-0,59930 (**)	0,40462 (**)
MFNRAC ⁵	0,29649 (**)	0,56276 (**)	-0,22907 (**)	1,0000
MFPRAC ⁶	0,52537 (**)	0,71214 (**)	-0,39075 (**)	0,28750 (**)
MFRAC ⁷	0,47096 (**)	0,76228 (**)	-0,36019 (**)	0,89580 (**)
MPULPA ⁸	0,16635 (*)	0,73124 (**)	-0,68859 (**)	0,18430 (*)
MCUESCO ⁹	-0,10070 (ns)	-0,64319 (**)	0,31876 (**)	-0,11238 (ns)
MALMEN ¹⁰	-0,19204 (*)	-0,53861 (**)	1,0000	-0,22907 (**)
MACPFRES ¹¹	0,28204 (**)	0,74261 (**)	-0,19684 (*)	0,16043 (ns)
MACPSECA ¹²	-0,02462 (ns)	0,05212 (ns)	-0,12888 (ns)	-0,35977 (**)
MACRACE ¹³	0,42964 (**)	1,0000	-0,53861 (**)	0,56276 (**)

Promedio de número de racimos
 Promedio de peso de racimos (kg)
 Promedio producción/palma/año
 Promedio peso fruto (gr)
 Promedio de frutos normales/racimo(%)
 Promedio de frutos partenocárpico/racimo (%)
 Promedio de fruto total (%)
 Promedio de pulpa/fruto (%)

⁹ = Promedio de cuesco/fruto (%)
¹⁰ = Promedio de almendra/fruto (%)
¹¹ = Promedio de aceite en pulpa fresca (%)
¹² = Promedio de aceite pulpa seca (%)
¹³ = Promedio aceite/racimo (estimado) (%)

* : significativo (p<0,05)
 ** : altamente significativo (p<0,01)
 ns: no significativo (p ? 0,05)

Tabla 3. Valores propios y vectores característicos del análisis de componentes principales para 13 variables en tres ensayos genealógicos en el C.I. "El Mira", Tumaco [Nar.].

Y _i ^b	Z _i ^a	Ensayo genealógico G-3					Ensayo genealógico G-5					Ensayo genealógico P-13				
		Valores propios	P.A. [*]	Vectores propios			Valores propios	P.A. [*]	Vectores propios			Valores propios	P.A. [*]	Vectores propios		
				V ₁	V ₂	V ₃			V ₁	V ₂	V ₃			V ₁	V ₂	V ₃
Y ₁	1	7,06	54	0,27	-0,28	0,20	7,18	55	0,28	0,34	0,27	5,02	42	0,37	0,14	-0,25
Y ₂	2	2,3	72	0,30	0,09	0,00	1,95	70	0,03	-0,28	0,37	3,17	68	-0,10	0,36	0,45
Y ₃	3	1,46	83	0,34	-0,11	0,08	1,42	81	0,28	0,20	0,41	1,67	82	0,22	0,40	0,12
Y ₄	4	1,02	91	0,23	0,33	-0,25	1,1	89	0,32	-0,15	0,00	-	-	-	-	-
Y ₅	5	0,52	95	0,35	0,14	-0,20	0,53	93	0,29	0,20	-0,18	0,88	89	0,35	0,09	0,36
Y ₆	6	0,27	97	0,24	-0,09	0,33	0,37	95,8	0,34	0,16	-0,06	0,62	94	0,24	-0,28	0,16
Y ₇	7	0,21	99	0,36	0,11	-0,11	0,26	97,8	0,35	0,17	-0,13	0,31	97	0,36	0,06	0,36
Y ₈	8	0,11	99	-0,28	0,37	0,06	0,12	98,7	0,30	-0,38	-0,21	0,29	99	-0,43	0,08	0,04
Y ₉	9	0,04	99	0,30	-0,27	-0,06	0,05	99,1	-0,29	0,33	0,28	0,04	100	0,42	-0,07	0,09
Y ₁₀	10	0	99	-0,11	-0,59	-0,05	0	100	-0,25	0,40	0,08	0	100	0,31	-0,12	-0,44
Y ₁₁	11	0	99	0,13	0,09	0,24	0	100	0,24	0,09	0,40	0	100	0,15	0,37	-0,46
Y ₁₂	12	0	100	-0,31	-0,02	0,36	0	100	-0,05	-0,47	0,53	0	100	-0,12	0,44	-0,01
Y ₁₃	13	0	100	0,25	0,43	0,20	0	100	0,37	-0,01	0,03	0	100	0,01	0,48	-0,12

Y₁ Promedio de número de racimos Y₅ = Promedio de frutos normales/racimo(%) Y₉ = Promedio de cuesco/fruto (%)
 Y₂ Promedio de peso de racimos (kg) Y₆ = Promedio de frutos partenocápicos/racimo [%] Y₁₀ = Promedio de almendra/fruto (%)
 Y₃= Promedio producción/palma/año Y₇ = Promedio de fruto total (%) Y₁₁ = Promedio de aceite en pulpa fresca (%)
 Y₄= Promedio peso fruto (gr) Y₈ = Promedio de pulpa/fruto (%) Y₁₂= Promedio de aceite pulpa seca (%)
^b Z_i Componentes principales Y₁₃= Promedio aceite/racimo [estimado][%]
^{*}P.A.: Proporción Acumulada

Tabla 4. Significancia de las progenies obtenidas del análisis de varianza, prueba de Tukey y orden de importancia para las variables más relevantes del análisis de componentes principales en tres ensayos genealógicos en el C.I. "El Mira", Tumaco (Nar.).

Ensayo	Variables ¹	CP ²	ANAVA		TUKEY	CV (%)
G-3	MFRAC (Y ₁)	1	**	*	CL-821T x CL-798T [71,38]	5,5
	MFNRAC (Y ₂)	2	**	*	CL-821T x CL-798T [69,54]	5,2
	MPPALY (Y ₃)	3	**	*	CL-821T x CL-798T [18,4], CL-821T x CL-743T [203,1]	14,9
	MACRACE (Y ₁₃)	4	**	*	CL-1089T x CL-821T [3,22]	10,1
	MPULPA (Y ₄)	5	**	*	CL-1089T x CL-821T [29,31], CL-821T x CL-743T [83,73]	5,3
	MACPFRES (Y ₁₁)	6	ns	ns	Todos igual	5,0
G-5	MACRACE (Y ₁₃)	1	**	*	PA-542D x PA-208D [25,5], PA-208D x PA-350D [25,3], PA-208D x PA-542D [25,2], PA-208D x PA-208D [25,0]	?
	MFRAC (Y ₁)	2	**	*	PA-208D x PA-350D [78,6], PA-350D x PA-179D [78,4], PA-350D x PA-208D [78,4], PA-208D x PA-542D [78,4], PA-542D x PA-208D [78,0]	?
	MALMEN (Y ₁₀)	3	**	*	PA-464D x PA-542D [10,3], PA-208D x PA-179D [10]	?
	MPULPA (Y ₄)	4	**	*	PA-208D x PA-350D [16,7], PA-350D x PA-208D [16,4], PA-208D x PA-464D [16,2]	?
P-13	MACPSECA (Y ₁₂)	5	**	*	PA-464D x PA-269D [77,4]	?
	MPPALY (Y ₃)	6	**	*	PA-542D x PA-464D [219,8], PA-350D x PA-179D [208,2]	?
	MCUESCO (Y ₉)	1	**	*	PA-315D x PA-464D [0,0]	4,6
	MFRAC (Y ₁)	2	**	*	PE-687D x PA-241D [0,0]	2,5
	MNRAC (Y ₁)	3	**	*	PA-241D x PA-241D [0,0], PE-630D x PA-315D [00,0]	12,0
	MACRACE (Y ₁₃)	4	**	*	PA-315D x PA-464D [20,0], PE-687D x PA-241D [19,7], PE-625D x PA-464D [19,7]	5,3
P-13	MACPSECA (Y ₁₂)	5	ns	ns	Todos igual	1,8
	MFRAC (Y ₁)	6	**	*	PA-315D x PA-464D [0,0], PE-625D x PA-464D [0,0]	8,2

Y₁= Promedio de número de racimos Y₅ = Promedio de frutos normales/racimo(%) Y₉ = Promedio de cuesco/fruto (%)
 Y₂ = Promedio de peso de racimos (kg) Y₆ = Promedio de frutos partenocápicos/racimo (%) Y₁₀= Promedio de almendra/fruto (%)
 Y₃ = Promedio producción/palma/año Y₇= Promedio de fruto total (%) Y₁₁= Promedio de aceite en pulpa fresca (%)
 Y₄ = Promedio peso fruto (gr) Y₈= Promedio de pulpa/fruto (%) Y₁₂ = Promedio de aceite pulpa seca (%)
²Orden de importancia de la variables escogidas por componentes principales Y₁₃ = Promedio aceite/racimo (%)
^{**}: P<0,01 * P<0,05 ns: No significativo

Tabla 8. Estimación de la habilidad combinatoria específica (hce) para los progenitores femeninos y masculinos seleccionados para tres ensayos genealógicos en el C.I. "El Mira", Tumaco (Nar.).

a. Ensayo genealógico G-5							
m _{ij} de las variables							
Madre	Padre	MPULPA ¹	MACRACE ²	MCUESCO ³	MNRAC ⁴	MPRAC ⁵	
		**	**	*	**	**	
PA-350D	PA-208D	62,60	24,49	29,57	16,39	11,19	
PA-208D	PA-208D	63,75	25,01	28,72	13,92	9,96	
PA-208D	PA-350D	63,15	25,28	29,08	16,67	12,27	
PA-208D	PA-464D	58,10	21,30	32,76	16,22	11,99	
Habilidad combinatoria específica [hce] ⁷							
PA-350D x PA-208D		-0,32	-6,03	0,41	-2,27	0,47	
PA-208D x PA-208D		1,90	2,10	-0,24	-2,90	0,85	
PA-208D x PA-350D		4,03	4,61	-0,73	0,48	1,82	
PA-208D x PA-464D		1,37	0,09	1,08	1,32	1,71	
b. Ensayo genealógico G-3							
m _{ij} de las variables							
Madre	Padre	MPULPA ¹	MACRAC ²	MCUESCO ³	MNRAC ⁴	MPRAC ⁵	MACRACE ⁴
		**	ns	**	**	ns	
CL-1089T	CL-821T	82,99	31,12	10,16	17,54	9,64	27,82
CL-821T	CL-1089T	70,45	25,40	21,43	20,41	8,78	25,73
Habilidad combinatoria específica [hce] ⁷							
CL-1089T x CL-821T		0,46	5,27	0,76	1,67	0,62	3,89
CL-821T x CL-1089T		-8,61	3,26	8,69	4,16	-0,01	3,81
c. Ensayo genealógico P-13							
m _{ij} ⁶ de las variables							
Madre	Padre	MPULPA ¹	MACRAC ²	MCUESCO ³	MNRAC ⁴	MPRAC ⁵	
		**	ns	**	**	ns	
PA-315D	PA-464D	64,34	20,03	29,4	6,84	19,78	
PE-687D	PA-241D	58,13	19,75	34,17	8,24	17,41	
Habilidad combinatoria específica [hce] ⁷							
PA-315D x PA-464D		1,2982	0,8525	-1,30	-0,83	1,83	
PE-687D x PA-241D		1,2982	0,8549	-1,30	-0,83	1,82	

¹ MPULPA = Media de pulpa/fruto (%)² MACRAC = Media aceite/racimo (%)³ MCUESCO = Media de cuesco/fruto (%)⁴ MNRAC = Media de número de racimos⁵ MPRAC = Media de peso de racimos (kg)⁶ m_{ij} = Media de la madre i y el padre j de un cruzamiento obtenido mediante el modelo de HCE⁷ P_i x P_j = m_{ij} - (m + a_i + b_j) Donde m = media general a_i = HCG para la madre i-ésima b_j = HCG para el padre j-ésimo

Con relación al ensayo genealógico G-3, se seleccionaron, por los valores de habilidad combinatoria general, las palmas CL-1089T y CL-821T como progenitores femeninos, y las palmas CL-821T y CL-1089T como progenitores masculinos (Tabla 6). Teniendo en cuenta la habilidad combinatoria específica, los mejores cruzamientos fueron: CL-1089T x CL-821T y su cruzamiento recíproco CL-821 T x CL-1089T (Tabla 8b).

En cuanto al ensayo genealógico P-13, por los valores de habilidad combinatoria general las palmas más sobresalientes fueron: PA-315D y PE-687D como progenitores femeninos, y PA-464D y PA-241D como progenitores masculinos (Tabla 7). Por habilidad combinatoria específica no hay diferencia entre los cruzamientos, lo cual quiere decir que no se presenta interacción entre progenitores femeninos y masculinos (Tabla 8c).

Selección de palmas

Dentro de las familias seleccionadas se hizo la escogencia de las palmas usando como límites inferiores de selección los valores promedios obtenidos en una serie de ensayos genealógicos en la plantación Unipalma de los Llanos S.A. (Tabla 9).

Para los tres experimentos se seleccionaron las palmas en grupos según el número de variables que cumplían con los valores mínimos de la Tabla 9, siendo el grupo I el que cumplía con los valores mínimos para el mayor número de ellas. Las palmas seleccionadas aparecen en la Tablas 10 a 12 para los ensayos genealógicos G-5, G-3 y P-13, respectivamente.

Agrupamiento de los diferentes materiales por su grado de cercanía

Con base en un análisis de conglomerados y de sus respectivos dendogramas, los diferentes materiales se agruparon según su grado de afinidad o cercanía. En las Tablas 13 a 15 aparece la agrupación de las familias para los ensayos G-5, G-3 y P-13, respectivamente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Bajo las condiciones experimentales dadas en los ensayos desarrollados se pueden sacar las siguientes conclusiones:

1. Las variables más condensadoras de información importante para la selección de los materiales son: Aceite/racimo, bien sea estimada o calculada directamente, Producción/palma/año, Porcentaje de almendra/fruto y la variable compuesta de aceite más almendra/racimo.
2. Las mejores progenies del ensayo genealógico G-5 (DxD) fueron: PA-542D x PA-208D, PA-208D x PA-350D, PA-350D x PA-179D y PA-208D x PA-542D.
3. Las mejores progenies del ensayo genealógico G-3 (TxT) fueron: CL-1089T x CL-821 T y CL-821 T x CL-743T.
4. Las mejores familias del ensayo genealógico P-13 (DxD) fueron: PA-315D x PA-464D, PE-687D x PA-241D y PE-625D x PA-464D.

Tabla 9. Valores comerciales para el rendimiento y sus componentes provenientes de varios ensayos de progenies en la plantación Unipalma de los Llanos S.A.

Variable	Media			Ténera	
	Ténera	Dura	Desviación estándar	Máx.	Min.
Frutos normales/racimo (MFNRAC) %	56,30	56,30	4,74	47,83	66,30
Frutos partenocárpico/racimo (MFPRAC) %	?	?	?	?	?
Frutos normales/racimo (MFNRAC) %	3,77	3,77	1,43	1,77	6,52
Frutos partenocárpico/racimo (MFPRAC) %	?	?	?	?	?
Frutos totales (MFRAC)	59,90	59,90	3,68	53,06	64,45
Pulpa (MPULPA) %	?	?	?	?	?
Pulpa (MPULPA) %	77,89	60,00	1,15	75,16	79,45
Aceite en pulpa fresca (MACPFRES) %	?	?	?	?	?
Aceite en pulpa fresca (MACPFRES) %	49,97	40,00	2,06	45,50	53,13
Aceite en pulpa seca (MACPSECA) %	?	?	?	?	?
Aceite en pulpa seca (MACPSECA) %	70,04	60,00	2,53	64,20	73,80
Aceite/racimo (MACRAC) %	?	?	?	?	?
Aceite/racimo (MACRAC) %	23,38	18,00	2,10	20,14	26,86
Cuesco (MCUESCO1) %	?	?	?	?	?
Cuesco (MCUESCO1) %	11,80	30,00	0,64	10,89	13,30
Almendra (MALMEND1) %	?	?	?	?	?
Almendra (MALMEND1) %	10,11	10,00	0,88	8,88	12,30
Producción/palma/año (MPPALY)	?	?	?	?	?
Producción/palma/año (MPPALY)	170,00	150,00	?	?	?
Peso/racimo (MPRAC)	?	?	?	?	?
Peso/racimo (MPRAC)	14,03	12,00	?	?	?

Tabla 10. Palmas seleccionadas dentro de las mejores familias escogidas en el ensayo genealógico G-5, siembra 1972, en el C. I. "El Mira", Tumaco (Nar.).

Familias seleccionadas	Variable(s) ¹	Palmas seleccionadas. (x) ²
PA208D x PA208D N=20	9 (n=1)	1958 (2)
	8 (n=2)	0695 (7) 0659 (2)
	7 (n=9)	0413 (9) 0419 (9) 0658 (2) 1562 (9) 1960 (9) 2457 (2) 1564 (2) 1510 (2) 0367 (12)
	6 (n=8)	1506 (1) 1905 (6) 2433 (2) 2454 (3) 2486 (6) 2488 (3) 0418 (7) 1557 (7)
PA208D x PA350D N=28	9 (n=1)	1186 (9)
	8 (n=10)	597 (13) 602 (11) 603 (7) 646 (10) 1185(10) 1238(10) 1258 (6) 1840 (6) 2451 (7) 2452 (6)
	7 (n=9)	548 (11) 604 (6) 766 (6) 817 (6) 820 (8) 1207 (9) 1257 (6) 1839 (7) 2501 (8)
	6 (n=8)	551 (5) 846 (6) 1208 (5) 2492 (8) 647 (11) 765 (10) 796 (7) 2453 (9)
PA208D x PA542D 959 (9) N=15	8 (n=15)	1965 (6) 1968(10) 1985(10) 2428(11) 2483(8) 1546 (8) 299 (12) 913 (9) 914 (10)
	960 (10)	1494(10) 1546 (8) 1575 (6) 1987 (2)
	7 (n=8)	1547 (7) 2431 (7) 1495 (2) 327 (7) 863 (7) 1545 (8) 1934 (7) 2484 (8)
	6 (n=7)	1492 (6) 906 (12) 915 (8) 1548(10) 2509 (9) 2430 (5) 1913 (2)
PA359D x PA179D N=16	9 (n=1)	1320 (7)
	8 (n=7)	270 (8) 324 (11) 561 (2) 583 (7) 584 (11) 1321(12) 2205 (7) 322 (5)
	7 (n=6)	2025 (9) 2078 (7) 2081 (7) 1319 (1) 272 (8) 1334 (9)
	6 (n=2)	2024 (1) 563 (2)
PA542D x PA208D 837 (6) N=32	8 (n=13)	1736 (7) 1786(9) 2524(11) 2573(8) 2645(9) 2712 (7) 406 (9) 787 (7) 828 (11)
	1469 (8)	1470(10) 1734 (11)
	7 (n=9)	426 (13) 1696(6) 826(6) 407(9) 838(6) 1472 (6) 2571(10) 2700(10) 2527 (12)
	6 (n=10)	1442 (2) 1698(1) 2699(1) 408(11) 405(6) 775 (6) 827 (7) 1420 (7) 2578 (9) 2658 (11)

¹ Número de variables para las cuales la palma satisface los valores establecidos
² Número de análisis de racimos por palma

Tabla 11. Palmas seleccionadas dentro de las mejores familias escogidas en el ensayo genealógico G-3, siembra 1970, en el C. I. "El Mira", Tumaco (Nar.).

Familias seleccionadas	Variable(s) ¹	Palmas seleccionadas. (x) ²
CL1089T x CL821T N=20	7 (n=4)	3773 (2) 5781 (2) 5789 (4) 5833 (4)
	6 (n=9)	6081 (1) 6133 (2) 3719 (2) 3742 (2) 5008 (2) 6079 (1) 6163 (2) 6131 (2) 6481 (1)
	5 (n=2)	4946 (2) 5787 (2)
	4 (n=3)	6431 (2) 5006 (2) 5840 (1)
	3 (n=2)	3721 (2) 6114 (2)
	8 (n=1)	4773 (4)
CL821T x CL1089T N=27	7 (n=11)	5457 (2) 4826 (5) 5540 (4) 5762 (4) 5859 (3) 5956 (5) 4827 (2) 5760 (1) 6731 (1) 6782 (1) 5507 (2)
	6 (n=2)	4870 (5) 5487 (6)
	5 (n=4)	5987 (4) 5856 (2) 5922 (2) 5761 (1)
	4 (n=5)	5802 (2) 5813 (2) 6708 (2) 6730(6) 6762(4)
	3 (n=4)	5958 (1) 5490 (6) 5975 (6) 5455 (2)
	7 (n=1)	3837 (6)
CL821T x CL743T N=18	6 (n=5)	3883 (6) 4928 (2) 4629 (2) 4700 (1) 4931 (3)
	5 (n=3)	3838 (5) 3882 (3) 5802 (2)
	4 (n=6)	4628 (2) 4701 (4) 4487 (2) 3934 (2) 5767 (2) 3935 (2)
	3 (n=3)	3932 (2) 4684 (1) 4630 (1)
	7 (n=4)	4644 (4) 5611 (5) 5643 (1) 6608 (5)
CL798T x CL1089T N=17	6 (n=6)	4696 (3) 5665 (5) 6153 (1) 3745 (1) 5644 (1) 6605 (1)
	5 (n=2)	3692 (2) 3765 (1)
	4 (n=3)	3716 (2) 4645 (5) 5694 (6)
	3 (n=2)	6607 (3) 3746 (2)

¹ Número de variables para las cuales la palma satisface los valores establecidos
² Número de análisis de racimos por palma

5. Las palmas más sobresalientes del ensayo genealógico G-5 fueron:

Progenie PA-542D x PA-208D: 1736, 1786, 2524, 2573, 2445, 2712, 0406, 0787, 0828, 0837, 1469, 1470 y 1734

Tabla 12. Palmas seleccionadas dentro de las mejores familias escogidas en el ensayo genealógico P-13, siembra 1983, en el C. 1. "El Mira", Tumaco (Nar.).

Familias seleccionadas	Variable(s) ¹	Palmas seleccionadas. (x) ²										
PE687D x PA241D N=49	8 (n=5)	0515	2304	2402	4417	3019						
	7 (n=10)	0513	0514	0813	0815	3017	4218	4320	0615	3409	3412	
	6 (n=16)	2103	2104	2203	3220	0516	0616	0816	2202	2930		
		3020	3120	3410	3511	3018	0714	4119				
	5 (n=11)	0814	3310	3117	0713	2301	2302	2403	2404	3311	4118	0614
	4 (n=3)	4117	3118	3218								
PE625D x PA464D N=32	3 (n=4)	2918	4419	2401	0613							
		8 (n=6)	1708	1908	2513	3909	4607	4608				
	7 (n=14)	0706	1707	2005	2515	3709	3911	3912	0607	0707		
		1906	4010	4506	4508	4705						
	6 (n=12)	0506	1805	2008	3710	0705	0807					
PA315D x PA464D N=48	8 (n=13)	0910	1911	1912	2509	2611	2710	2812	3302	3401		
		2809	3602	4510	4511							
	7 (n=23)	0912	1010	1109	1209	1210	1212	1910	2011	2511		
		1709	1812	3604	2610	2612	2712	2811	2813	3303		
		3304	3503	3504	4609	4610						
	6 (n=12)	1111	1809	2012	2815	3403	2715	4612	2816	2510	1012	
3404		4509										

¹ Número de variables para las cuales la palma satisface los valores establecidos

² Número de análisis de racimos por palma

Tabla 13. Agrupación de familias a partir del dendograma con las primeras cuatro componentes principales para más de 60 análisis de racimos por familia en el ensayo genealógico G-5 en el C.I. "El Mira", Tumaco (Nar.).

Grupo	Materiales			
1	PA-179D x PA-208D	PA-208D x PA-179D	PA-208D x PA-221D	PA-269D x PA-350D
	PA-208D x PA-269D	PA-542D x PA-269D	PA-269D x PA-179D	PA-269D x PA-464D
	PA-542D x PA-179D	PA-221D x PA-464D	PA-464D x PA-350D	
2	PA-179D x PA-350D	PA-179D x PA-542D	PA-350D x PA-269D	PA-350D x PA-179D
	PA-208D x PA-350D	PA-208D x PA-542D	PA-542D x PA-208D	PA-350D x PA-208D
	PA-464D x PA-464D	PA-208D x PA-464D	PA-221D x PA-179D	PA-221D x PA-269D
	PA-221D x PA-542D	PA-221D x PA-208D	PA-264D x PA-269D	
	PA-208D x PA-208D	PA-269D x PA-269D		
4	PA-542D x PA-464D			

Tabla 14. Agrupación de familias a partir del dendograma con las primeras tres componentes principales para más de 60 análisis de racimos por familia en el ensayo G-3 en el C.I. "El Mira", Tumaco (Nar.).

Grupo	Familias			
1	CL-1089T x CL-743T	CL-821T x CL-1170T	CL-821T x CL-1089T	
	CL-1089T x CL-821T	CL-1170T x CL-821T	CL-798T x CL-1089T	CL-798T x CL-821T
2	CL-821T x CL-1170T	CL-821T x CL-743T		
	CL-821T x CL-798T			
3	CL-743T x CL-798T			

Tabla 15. Agrupación de familias a partir del dendograma con las primeras tres componentes principales para más de 60 análisis de racimos por familia en el ensayo P-1 en el C.I. "El Mira", Tumaco (Nar.).

Grupo	Familias			
1	PA-241D x PA-241D	PA-241D x PE-687D	PA-315D x PA-464D	PA-464D x PA-464D
	PE-586D x PA-464D	PE-586D x PE-687D	PE-625D x PA-464D	PE-625D x PE-586D
	PE-665D x PA-464D	PE-687D x PA-241D		
2	PE-586D x PA-241D	PE-630D x PA-315D		
3	PA-315D x PA-315D			

- Progenie PA-208D x PA-350D: 1186
Progenie PA-208D x PA-542D: 1965, 1968, 1985.
2428, 2483, 1546, 0299, 913, 914, 959, 960, 1494,
1546, 1575 y 1987
Progenie PA-350D x PA-179D: 1320
Progenie PA-208D x PA-208D: 1958
6. Las palmas elites obtenidas en el ensayo genealógico G-3 fueron:
Progenie CL-1089T x CL-821T: 3773, 5781, 5789 y 5833
Progenie CL-821T x CL-743T: 3837
7. Las palmas elites obtenidas en el ensayo genealógico P-13 fueron:
Progenie PA-315D x PA-464D: 0910, 1911, 1912, 2509,
2611, 2710, 2812, 3302, 3401, 2809, 3602, 4510 y 4511
Progenie PE-687D x PA-241D: 0515, 2304, 2402, 4417 y 3019
Progenie PE-625D x PA-464D: 1708, 1908, 2513, 3909.
4607 y 4608
8. Para lograr una mayor eficiencia en el manejo y economía de la información es necesario organizar bases de datos funcionales.
9. Se debe seguir adelante en la búsqueda de materiales adaptados al medio colombiano, mediante un mejoramiento moderno y participativo.

BIBLIOGRAFÍA

- BASTIDASP.,S.;FIGUEREDOV..P.;REYESC.,R. 1993. Obtención de materiales de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) adaptados al trópico latinoamericano. Palmas (Colombia) v. 14 no. especial, p.49-56.
- BREURE, C.J.; BOS, I. 1992. Development of elite families in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Euphytica (Holanda) v.64, p.99-112.
- FIGUEREDO, H. P.; VALLEJO. G. 1986. Botánica de la palma africana de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Err. Primer Encuentro Nacional sobre Palma Africana. Villavicencio, junio 1984. Memorias. 2a ed. Fedepalma, Bogotá, p.30-42.
- PATIÑO, V. M. 1948. Información preliminar sobre la palma de aceite africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Colombia. Secretaria de Agricultura y Ganadería. Cali. Estación Agroforestal del Pacífico de Cali - Buenaventura. Serie Botánica Aplicada v.1 no.2.77p.