

LA VARIABILIDAD DEL GERMOPLASMA

y su relación con el éxito de un programa de mejoramiento en palma de aceite

GERMOPLASMA VARIABILITY

and its Relationship with the Success and Oil Palm Breeding Program

AUTORES



Leonardo Rey B,

I.A. M.Sc. Director División Variedades. Campo Experimental Palmar de La Vizcaina. Cenipalma. leonardo.rey@cenipalma.org

Pedro Gómez C,

Ph.D. Director ejecutivo Cenipalma (hasta Dic. 2006). Bogotá.

Iván Ayala D,

I.A. Investigador auxiliar. Campo Experimental Palmar de La Vizcaina. Barrancabermeja.

Pedro Rocha S,

Ph.D. Director Laboratorio Caracterización Molecular, Bogotá

Fausto Prada

I.Q. Director Laboratorio Caracterización de Aceites, Barrancabermeja.

Palabras CLAVE

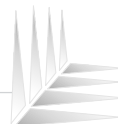
Recurso genético, diversidad genética, selección, evolución, palma de aceite.

Genetic resource, genetic diversity, selection, evolution, oil palm.

RESUMEN



El desarrollo sostenible del cultivo de la palma de aceite descansa necesariamente en el recurso genético y en su utilización, ya que allí se encuentran todas las características (genes) necesarias para obtener una palma de aceite ideal, acorde con los propósitos de la agroindustria. La conformación del recurso genético debe contemplar las alteraciones genéticas que conllevan pérdidas y/o aumentos de la variación que conforman las poblaciones nativas en términos de tamaño y tipos de selección natural que actúan sobre ellas. No hacerlo tiene efectos sobre el avance rápido en la obtención de nuevas variedades con baja vulnerabilidad a factores adversos. Los patrones de la variación genética existente en la palma de aceite pueden ser cuantificados por medio de medidas que definen la estructura genética de las poblaciones, y que incluyen: la diversidad genética en la media de la población, los niveles de la variación de la diversidad en diferentes poblaciones, y la extensión y variación en la correlación genética o distancia genética entre diferentes poblaciones. En estos tres casos los componentes de la diversidad genética comprenden los tipos y números de alelos presentes, la heterocigosidad y la correlación de alelos entre locus. El fitomejoramiento tiene como propósito la utilización eficiente y sistemática del recurso genético, mediante la aplicación de métodos de selección adecuados a poblaciones genéticamente variables, lo cual permite modificar y alterar las características de la palma, para formar tipos mejorados agrónomicamente, mejor adaptados y de mejores rendimientos económicos que los materiales nativos. El progreso genético depende del recurso genético disponible, el cual debe representar buena parte de la diversidad genética de la especie resultante del proceso evolutivo sometido a procesos de selección y adaptación permanente a condiciones ambientales cambiantes, de tipo biótico y abiótico, las cuales generan una amplia diversidad desde materiales silvestres, variedades primitivas y modernas, y especies relacionadas con un valor actual y/o potencial. El conocimiento de la variación fenotípica de las diferentes características de interés agronómico, la naturaleza genética de la misma (heredabilidad), y la composición y clasificación estructural de la variabilidad genética, hace más eficiente el proceso de selección para garantizar avances genéticos significativos en el menor tiempo posible.



Las estructuras genéticas que pueden mejorar la productividad y/o la calidad de los productos de la palma de aceite y de especies relacionadas constituyen un grupo de insumos estratégicos de bajo costo, debido a que ya están disponibles en la naturaleza. Las actividades empresariales del sector palmero moderno cuentan con una alta especialización y están dedicadas a la producción de alimentos, oleoquímica, fitofarmacéuticos y agroenergía (biodiésel) y demás productos de alta rentabilidad. Todos presentan una demanda muy intensa por fuentes alternativas de variabilidad genética y ésta condiciona los objetivos del recurso genético y del fitomejoramiento

SUMMARY

The sustainable development of the crops of the oil palm, rests necessarily in the genetic resource and its use since in her are all the characteristics (gens) necessary to obtain a palm of ideal oil to the intentions of agroindustry of the oil palm. The conformation of the genetic resource should keep in mind the genetic alterations that bear losses and or increases of the variation that the native populations conform in size terms and types of natural selection that are acting on the same ones. Not keeping them in mind has effects on the express progress for the obtaining of new varieties with low vulnerability to adverse factors. The patterns of the existent genetic variation in the oil palm can be quantified, by means of measures that define the genetic structure of the populations, and they include: the genetic diversity in the population's stocking, the levels of the variation of the diversity in different populations and the extension and variation in the genetic correlation or distance genetics among different populations. In these three cases the components of the genetic diversity understand the types and numbers of present alells, the heterocigocity and the alells correlation among locus. The breeding has as purpose the efficient and systematic use of the genetic resource by means of the modification and alteration of the inheritance of the oil palm to form types improved agronomically, better adapted and of better economic yields that the native materials and it is obtained genetically with the application of appropriate selection methods to populations variables and the genetic progress this directly related with the base of the genetic resource, which should represent good part of the genetic diversity of the resulting species from the subjected evolutionary process to selection processes and permanent adaptation to changing environmental conditions, of type biotic and abiotic, which generate a wide diversity from wild materials, primitive and modern varieties and species related with a value current potential. The knowledge of the variation phenotypic of the different characteristics of agromonic interest, the genetic nature of the same one (heritability), and the composition and structural classification of the genetic variability makes the selection process more efficient to guarantee significant genetic advances in the shortest time.



INTRODUCCIÓN

La evolución se define como el proceso biológico natural que resulta de la modificación de la frecuencia de genes en poblaciones naturales. Cada especie está conformada por poblaciones que tienen una cohesión genética interna debido a los procesos continuos de intercambio de genes, los cuales definen comunidades reproductivas que reflejan el grado de aislamiento entre poblaciones y esta genera una clasificación biológica debida a la diferenciación de las mismas en función del tiempo y el espacio y, a su vez, permite establecer relaciones de parentesco con otras especies y determinar sus posibles ancestros.

La divergencia genética genera diferencias morfológicas apreciables entre las dos especies de palma de importancia agronómica, *Elaeis guineensis* Jacq. y *Elaeis oleifera* Cortés. Cada una de las especies está constituida por la información genética, denominada acervo genético o "genepool", a la cual Harlan *et al.* (1971) clasificó en tres niveles: (1) acervo genético primario, que incluye todas las poblaciones que pueden cruzarse con la especie produciendo híbridos fértiles y en los cuales ocurre buen apareamiento de cromosomas y segregación normal, tal como sucede entre las especies guineensis y oleífera; (2) acervo genético secundario y (3) acervo genético terciario. Estos dos últimos incluyen todas las especies biológi-

cas que pueden cruzarse con la especie, pero con un flujo genético restringido o nulo, que requiere del apoyo de técnicas como la fusión de protoplastos o ingeniería genética para transferir genes al acervo primario.

Esta clasificación provee un conocimiento amplio de la estructura del germoplasma de la especie determinada, así como de las relaciones entre cultivo y especies ancestrales, lo que permite generar información relevante tanto para la organización del recurso genético como para su utilización en los programas de mejoramiento genético.

El recurso genético se define como la representación de toda la diversidad genética resultante del proceso evolutivo sometido a procesos de selección y adaptación permanente a condiciones ambientales cambiantes, de tipo biótico y abiótico, las cuales generan una amplia diversidad desde materiales silvestres, cultivares nativos y variedades mejoradas.

Los cultivares nativos están compuestos por materiales o poblaciones colectadas en los sitios donde se presupone que el cultivo se originó o diversificó, y que utilizan los agricultores tradicionalmente sin que hayan pasado por procesos de mejoramiento sistemático y controlado. Los cultivares mejorados son obtenidos mediante procesos de selección dirigida en los programas de fitomejoramiento, con el propósito de utilizar eficiente y sistemáticamente el recurso genético para formar tipos mejorados agrónomicamente, mejor adaptados y con mejores rendimientos económicos que los nativos.

La poblaciones silvestres se desarrollan sin la intervención del hombre en los centros de origen y/o de diversificación, nunca fueron seleccionadas o cultivadas, tienen genes para resistencia a plagas y enfermedades -que han coevolucionado con ellas- y están adaptadas a condiciones extremas que limitarían el crecimiento de un cultivar mejorado.

La conservación, estudio y utilización del recurso genético puede realizarse en los centros de origen o de diversificación *in situ*, o en campos experimentales fuera de su centro de origen, es decir, *ex situ*. El éxito de esta última depende de que las muestras tomadas de los centros de origen representen la mayor variabilidad genética existente en ellas.

La caracterización y evaluación del recurso genético disponible contribuye a mejorar las estrategias de

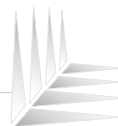
colección y conservación del germoplasma, porque permiten detectar las necesidades de variabilidad y conservación eficientes, además de orientar el uso del recurso y diseñar estrategias de mejoramiento genético.

Tradicionalmente los bancos de germoplasma en palma de aceite se han caracterizado y evaluado con base en variables morfoagronómicas y con técnicas univariadas que limitan la visión integral de la relación generalizada de accesiones y características en forma conjunta. Las caracterizaciones a nivel molecular, bioquímico y fisiológico son mínimas en la mayoría de los bancos de germoplasma, lo cual limita la eficiencia de la selección y las posibilidades de mejora.

Los procesos de diferenciación de grupos de palmas se fundamentan en los principios de la genética de poblaciones. Una población está definida por palmas que comparten un mismo conjunto de alelos en el espacio y en el tiempo. Los patrones de la variación genética existente en la palma de aceite pueden ser cuantificados por medio de medidas que definen la estructura genética de las poblaciones, e incluyen: (1) la diversidad genética en la media de la población, (2) los niveles de la variación de la diversidad en diferentes poblaciones, y (3) la extensión y variación en la correlación genética o distancia genética entre diferentes poblaciones. En los tres casos los componentes de la diversidad genética comprenden los tipos y números de alelos presentes, la heterocigosidad y la correlación de alelos entre locus.

La identificación de la distribución de la variación genética entre y dentro de las poblaciones colectadas permite concentrar la variabilidad genética en pocas palmas, darle un manejo y conservación adecuados de los bancos de germoplasma, así como servir de guía para la recombinación de características deseables (Falconer *et al.*, 1996).

Los aportes de estos estudios a un programa de mejoramiento son: *i)* análisis de la variabilidad genética de los cultivares, *ii)* identificación de parentales con alta variabilidad para lograr recombinaciones contrastantes que permitan una segregación transgresiva en las progenies *iii)* introgresión de genes deseables desde un germoplasma diverso hacia la base genética disponible, para ampliarla y mejorar las poblaciones existentes (Mohammadi y Prasanna, 2003). Así, el éxito en el mejoramiento 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 (Rajanaidu *et al.*, 1998).

Alteraciones genéticas en los bancos de germoplasma por acción de la prospección

La selección natural significa un aumento en la proporción de ciertos genotipos a través de las generaciones en detrimento de otros, provocado por factores bióticos y abióticos. Los tipos de selección que actúan son: *Estabilizadora o normalizada*: favorece genotipos en torno a la media poblacional eliminando los genotipos de los extremos de la población; son poblaciones estables y adaptadas. *Direccional*: favorece la concentración de genotipos hacia un extremo provocando el desvío de la frecuencia génica. Ambientes en modificación. *Disruptiva*: mantiene genotipos favorables en estado de equilibrio polimórfico.

Generan aumentos en los niveles de variación, además de la *Mutación génica*: súbita alteración del patrón hereditario y la *Migración*: incorporación de alelos de otras poblaciones.

Erosión genética significa pérdida de la variación necesaria para el mejoramiento genético y al mismo tiempo aumentos en la uniformidad y en la vulnerabilidad a factores adversos (Ford-Lloyd *et al.*, 1986). La oscilación genética o efecto de Sewall Wright son cambios aleatorios en las frecuencias génicas por fijación o desaparición de ciertos alelos entre generaciones en el proceso evolutivo. Los tipos de efectos son: *Embudo*: pérdida de alelos cuando es reducida drásticamente. *Fundador*: la muestra inicial se establece a partir de un pequeño número de individuos (Colectas). *Pequeño tamaño poblacional*: el tamaño de la población permanece pequeño a través de las generaciones

Bancos de germoplasma con alta variabilidad genética garantizan progresos efectivos en los programas de mejoramiento

El germoplasma es el material que constituye la base física de la herencia y se transmite de una generación a otra a través de las células reproductivas, en este caso semillas provenientes de los racimos de las palmas, y expresa el grado de variación existente en

las diferentes características que han podido ser originadas hace miles de años o en épocas recientes, dependiendo de las presiones naturales ejercidas por el ambiente en las diferentes poblaciones espontáneas existentes.

Un banco de germoplasma debe tener una alta variabilidad genética existente y atributos que satisfagan la demanda:

1. Mantener accesiones de forma estructurada, en agrupamientos compatibles para atender la demanda.
2. Mantener las accesiones caracterizadas y evaluadas.
3. Poseer agrupamientos para características de adaptación ambiental.
4. Poseer un tamaño mínimo como estrategia para estimular su utilización.

La palma de aceite africana, *Elaeis guineensis*, ha sufrido un proceso continuo y duradero de domesticación, con el objetivo de adaptarla a las condiciones abióticas y bióticas de las diferentes zonas de producción en el mundo y, después de 80 años de iniciado este proceso, se logró pasar de 300 kg de aceite/ha a 5.000 kg/ha (Lleras y Corandin, 1985). En contraste, la palma de aceite americana, *Elaeis oleífera*, se encuentra en un estado entre silvestre y semidomesticada, con altos potenciales de mejora.

Desarrollar un programa de mejoramiento de híbridos interespecíficos de oleífera por guineensis (OxG) implica el conocimiento de las características que se desean transferir, del material oleífera como progenitor femenino y que no presenta el material guineensis, como el lento crecimiento del estípote, resistencia a enfermedades y plagas, alta calidad del aceite en ácidos grasos insaturados y altos contenidos de caroteno. Mantener los porcentajes de mesocarpio en fruto, aceite en racimo y alta producción de racimos.

La limitante más común en la producción de híbridos interespecíficos es no contar con características deseables en el progenitor oleífera como alto porcentaje de frutos normales en el racimo, alto porcentaje de pulpa en fruto, y alto porcentaje de aceite en el racimo, entre otras características (Tabla 1). Complementariamente a los componentes del rendimiento está

la arquitectura de la palma, que permite predecir qué tan compacto puede ser un híbrido interespecífico en términos de crecimiento del tallo y área foliar (Tabla2).

Variaciones en la respuesta fisiológica en el banco de germoplasma de *Elaeis oleífera* de Cenipalma

La producción de biomasa y racimos y aceite está directamente relacionada con la capacidad de fijación del bióxido de carbono a través de la fotosíntesis y la respiración del material, así como con la redistribución de fotoasimilados en las diferentes estructuras de la palma (Tabla 1).

Por su parte, variaciones altas en los componentes del sistema fotosintético (por ejemplo, en los contenidos de clorofila) entre materiales genéticos permiten seleccionar, de forma temprana, materiales más eficientes en producción, pues existe una correlación positiva entre proteína foliar soluble y actividad de la enzima rubisco responsable de la ruta metabólica para la fijación del bióxido de carbono (fotosíntesis).

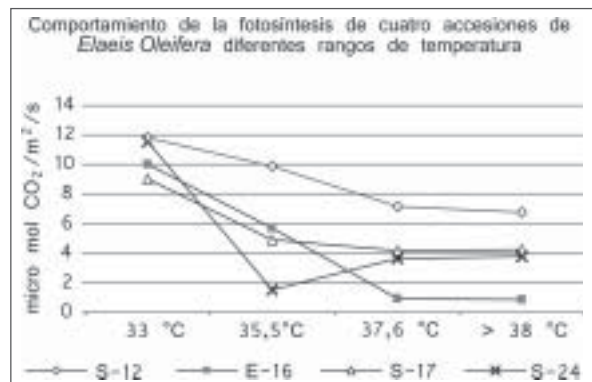


Figura 1. Respuesta diferencial de la tasa fotosintética de diferentes accesiones del banco de germoplasma de oleíferas frente a diferentes regímenes de temperatura.

Tabla 1. Variación de los componentes del rendimiento del racimo, de una muestra del banco de germoplasma de *E. oleífera* de Cenipalma

Característica	Rango	Característica	Rango (%)
Peso de racimo	5 - 11 Kg	Espiga con fruto/racimo	87,5 - 92,3
Peso pedúnculo	4 - 14 Kg	Pedúnculo/racimo	7,7 - 12,5
Peso espiguillas	4,6 - 9,6 Kg	Fruti Set	26 - 75
Número espiguillas	87 - 123	Fruto/racimo	54 - 69
Nº frutos normales	255 - 1353	Pulpa/fruto	30 - 55
Nº frutos partenocárpico	453 - 946	Nuez/fruta	48 - 69
Nº Frutos Totales	774 - 1806	Pulpa/racimo	16 - 32
Peso medio del fruto	5,3 - 14,4 g	Aceite/Mesocarpio húmedo	26 - 43
Peso medio de la nuez	2,2 - 9,0 g	Aceite/Racimo	4,4 - 13

Tabla 2. Variación de las características vegetativas presentes en el banco de germoplasma de *E. oleífera* de Cenipalma

Características vegetativas	Media	Desviación estándar	Min. - Máx. (Rango)
Longitud del raquis	420	0,86	240 - 510
Largo del folíolo	49,5	8,8	34 - 60
Ancho del folíolo	4,6	0,6	3,5 - 5,4
Largo del peciolo	165,7	34,5	120 - 240
Ancho del peciolo	3,8	0,6	2,8 - 5,0
Número de folíolos	81,7	8,9	69 - 96
Área foliar hoja 17	4,38	1,48	2,01 - 6,62
Altura del tallo	189	82	78 - 320 (5 - 10 cm/año)

La selección de materiales con altas tasas fotosintéticas a altas temperaturas es una característica relevante, dado el mayor tiempo del material realizando fotosíntesis (Figura 1).

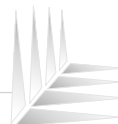
La caracterización en los contenidos de clorofila igualmente permite realizar selecciones y recombinaciones tempranas. Figura 2.

Variaciones en metabolitos e instauración de los ácidos grasos

Variaciones importantes y altos contenidos de carotenos hasta 6.500 ppm, tocotrienoles, tocoferoles y



Figura 2. Variaciones en los contenidos de clorofila en accesiones del banco de germoplasma de oleíferas.



valores de yodo, permiten realizar selecciones exitosas de progenitores para la producción de híbridos interespecíficos así como para el mejoramiento poblacional de materiales oleífera (Tabla 3).

Accesiones con altos contenidos de los diferentes componentes de la vitamina E han demostrado tener resistencia al estrés hídrico así como a la descomposición oxidativa de las células cuando se exponen a altas temperaturas, razón por la cual los materiales siguen realizando fotosíntesis a altas temperaturas. Igualmente se presentan divergencias en la ruta metabólica de la vitamina E en la relación con los tocoferoles y tocotrienoles; estos últimos fueron identificados en una accesión como prevalentes (Figura 3).

La diversidad genética no significa muchos sitios de colecta u orígenes

Cuando se realizan prospecciones o introducciones de germoplasma se piensa en sitios u orígenes diversos con la idea correcta de que la diversidad genética está directamente asociada a los sitios. La actividad antrópica ha hecho cambiar esta situación debido a la alta movilización e intervención de los nichos naturales. Adicionalmente cuando se conforma una colección *ex situ* el tamaño de la muestra colectada del sitio de origen puede cambiar la estimación de la variabilidad. Al caracterizar y clasificar molecularmente las accesiones presentes en un banco de germoplasma éstas no necesariamente se relacionan con los sitios u origen de las accesiones, debido a muchas razones, una de ellas asociada al flujo de genes entre los diversos sitios y poblaciones (Figura 4).

Tabla 3. Metabolitos e índice de yodo para genotipos del banco de germoplasma de *E. oleífera* de Cenipalma

Característica	<i>E. oleífera</i>	Híbrido $\alpha\gamma$ La Cabaña	<i>E. guineensis</i> (Ténera)
Carotenos totales, (ppm)	1880 - 6527	3398	721 - 1600
Vitamina E total, (ppm)	519 - 1140	1338	479 - 1003
Índice de yodo (calculado)	76,4 - 84,5	71,33	53.3 - 58.4
Ácidos grasos insaturados, (%)	68 - 74	64	49 - 53
Índice de refracción 40 °C	1.4614 - 1.4669	1.4620	1.4595 - 1.4597

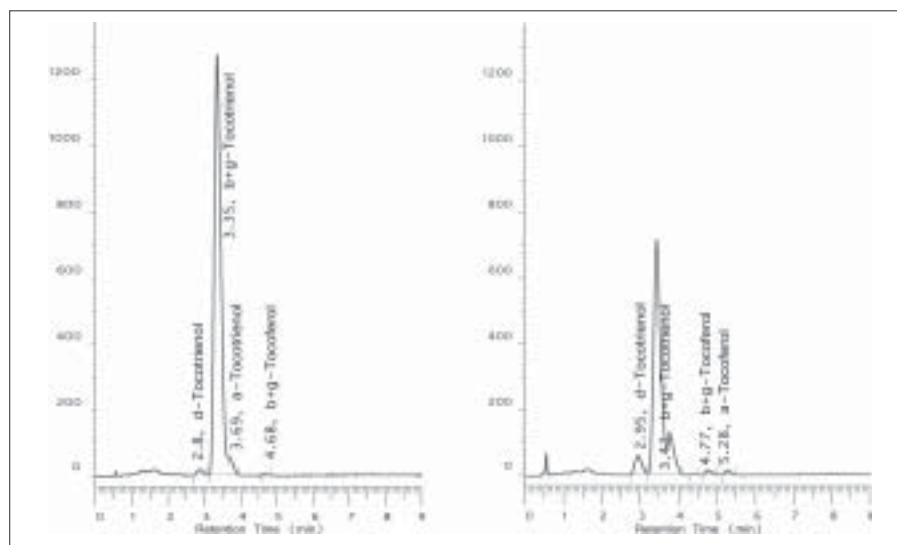


Figura 3. Cromatograma de los contenidos de tocoferoles y tocotrienoles en dos accesiones de oleíferas.

Análisis de la variación de los valores fenotípicos de las características, la selección y conformación de poblaciones mejoradas de progenitores femeninos

Con el fin de conformar poblaciones mejoradas de progenitores femeninos a partir de materiales presentes en plantaciones comerciales de Colombia, se seleccionaron 67.143 palmas de 12 lotes comerciales y de ellas se seleccionaron 781 con un índice de selección de 1,1. Se realizaron análisis estadísticos tradicionales bajo un diseño anidado de tipo jerárquico, con zonas, plantaciones, poblaciones y palmas individuales, y se aplicaron técnicas de clasificación multivariada por medio del análisis de componentes principales para derivar un pequeño grupo de combinaciones lineales (componentes principales) del universo de variables enunciadas y que retienen mayor información que las variables originales.

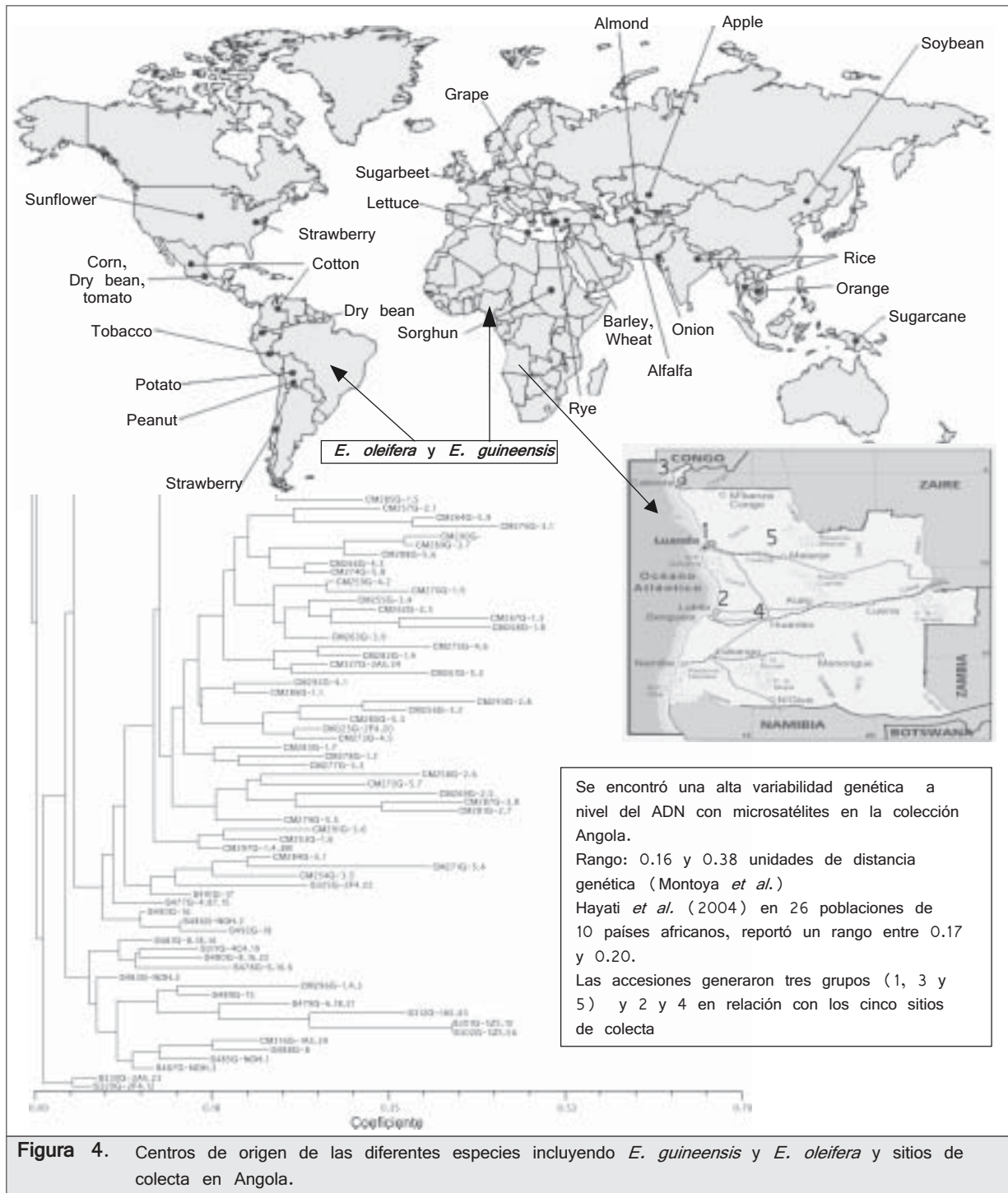


Figura 4. Centros de origen de las diferentes especies incluyendo *E. guineensis* y *E. oleifera* y sitios de colecta en Angola.

Las características morfoagronómicas presentaron una amplia dispersión a lo largo de la media, indicando alta variabilidad para los caracteres en estudio, principalmente en el número de racimos, peso total de racimos, pulpa en fruto, aceite en racimo, altura de la palma, peso seco foliar e índice de racimo (Tabla 4).

Evaluación entre poblaciones

Se realizaron análisis estadísticos para determinar las diferencias existentes entre las poblaciones con base en variables de producción. Existen diferencias altamente significativas entre las poblaciones 11, 5 y 6 en relación con las demás poblaciones en la pro-

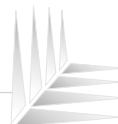


Tabla 4. Variación de características de 781 palmas Dura seleccionadas en las cuatro zonas productoras de Colombia

Características reproductivas			Características vegetativas		
	Media	CV		Media	CV
NR	5,8	15	ALTP	860,4	12,2
RRF	154	30	NF	171,8	16,2
PMR	22,3	23,7	LR	468,6	12,9
M/	52,8	11,4	PS	3,5	21,3
ACR	16,3	17,0	IR	0,41	21,0

NR: Número racimos; RRF: racimo fruto fresco; PMR: peso medio racimo; M/F: mesocarpio en fruto; ACR: aceite en racimo; ALTP: altura de palma; NF: número foliolos; LR: longitud raquis; PS: peso seco hoja 17; IR: índice de racimo.

ducción total de racimos por palma; el mayor número de racimos por palma año se encuentra en la población 5, y el mayor peso medio de racimo en la población 12, al igual que el mayor contenido de aceite en racimo (Tabla 5).

Identificación de palmas individuales

De las 781 palmas objeto de análisis se identificaron, con base en la producción de aceite por palma/año, las mejores 20. Estas palmas se encuentran en las zonas 1, 3 y 4 correspondientes a las zonas Central, Occidental y Oriental, respectivamente. Además, se concentran entre las poblaciones 1, 6, 11 y 12, con producciones de racimos frescos por palma/año entre 220 y 343 Kg, equivalentes a una producción de aceite entre 7 y 10 toneladas por hectárea por año; el peso medio de racimos varió entre 16 y 37 Kg, el número de racimos por palma/año lo hizo entre 6 y 14, y el contenido de aceite en racimo entre 18 y 26% (Tabla 6).

Tabla 5. Comportamiento de los componentes del rendimiento en las diferentes poblaciones

Población	N R	RFF (Kg)	PMR (kg)	Aceite Racimo
11	6,4	192 a	25,2	17,48
5	8,7	189 a	22,5	16,3
6	7,9	182 a	23,8	14,4
4	8,2	144 b	23,2	15,3
1	6,9	143 b	21,4	18,8
3	6,1	138 b	24,5	19,1
2	6,0	132 b	23,6	17,3
7	5,5	100 bc	19,3	16,2
12	4,9	132 b	27,6	21,1
Media	5,83	143,6	25,3	18,9

Análisis y clasificación de la variación de los valores fenotípicos de las características y materiales genéticos

La selección de 781 palmas con base en 22 características morfoagronómicas con más de 17.000 datos cuantitativos dificulta los análisis individuales por palma y por característica, para lograr una selección de palmas para recombinar y componer una población mejorada de palmas tipo Dura.

El 93,7 % de la variabilidad total se concentra en diez grupos, disímiles entre sí y muy similares dentro de cada uno de ellos.

Tabla 6. Componentes del rendimiento de las mejores veinte palmas seleccionadas

Zona	Población	Palma	PF	ACR	NR	PRTY	PMR	AC/Palma	AC/t/ha
3	11	332	57,9	20,3	6,8	343,4	28,3	69,7	9,97
3	11	373	58,2	22,7	6,3	266,7	25,0	60,5	8,66
3	11	374	60,2	24,2	6,8	245,3	37	59,4	8,49
1	6	190	56,1	18,3	9,3	295,9	31,8	54,2	7,75
4	12	652	56,4	22,3	9,9	240,9	24,4	53,8	7,69
4	12	742	58,8	22,3	9,2	240,0	26,0	53,6	7,67
4	12	733	64,2	24,2	8,4	217,6	26,0	52,7	7,53
4	12	775	55,3	25,8	9,2	202,3	22,0	52,1	7,45
3	11	338	63,7	25,1	7,3	205,1	32	51,5	7,36
4	12	662	63,7	24,9	7,7	206,8	26,8	51,4	7,35
1	6	185	65,2	19,8	9,0	258,8	28,8	51,2	7,32
4	12	547	64,3	22,7	7,5	224,9	30,0	51,0	7,29
3	11	368	56,4	20	6,8	252,8	22,5	50,6	7,23
4	12	646	59,3	21,3	9,6	236,6	24,5	50,5	7,22
3	11	362	61,2	23,2	5,7	216,5	22,5	50,2	7,18
1	1	22	62,1	21,8	14,0	228,4	16,3	49,7	7,11
1	1	20	56,4	21,8	12,0	228,1	19,0	49,6	7,10
1	6	181	56,6	22,33	9,3	220,8	23,7	49,3	7,05

P/F Mesocarpio en Fruto (%) – ACR aceite en racimo (%) – NR Número Racimos– PRTY peso total racimo fresco PMR peso medio racimo – Aceite palma/año (kg) y Aceite/ha/año (t).

Las características constitutivas de cada agrupamiento son: la producción de racimos frescos y el aceite en palma explican el primer componente principal (CP1); el número de racimos y las características vegetativas como materia seca vegetativa y el peso seco foliar explican el segundo componente principal (CP2); el tercer componente principal (CP3) se explica por el aceite en racimo y el mesocarpio en fruto; el cuarto componente (CP4), por el peso medio del racimo y el quinto componente (CP5), por el porcentaje de cuesco en el fruto.

Conocer la contribución de cada grupo en la variación total así como sus características explicativas, permite identificar las características de las palmas en cada grupo y guiar los cruzamientos por complementariedad de características, como alto número de racimos y bajo peso medio de racimos, correspondiente a los grupos 2 y 4, además de fijar ciertas características, como baja altura de la palma grupo 6 y alto contenido de aceite en racimo grupo 3 (Tabla 7).

Los análisis de agrupamientos o conglomerados (análisis de cluster) con base en la estimación de las distancias presentes en los valores fenotípicos permitieron la identificación de las palmas que se encuentran en cada grupo, además de la selección de 97 palmas representativas de cada grupo con el objeto de determinar la variabilidad genética presente mediante la identificación de polimorfismos a nivel del ADN, mediante cebadores de microsatélites.

Los agrupamientos por características y la ubicación de palmas en cada grupo permitieron seleccionar los cruzamientos. Se definieron varios cruzamientos para fijar características mediante recombinación de las

mismas, en cuanto a alta producción de racimos de fruto fresco y aceite como características básicas, y complementado por bajo crecimiento del estípite, mayor aceite en racimo y alto peso medio de racimos (Tabla 8).

Variaciones en características de interés en palma de aceite en el mundo

Contenido de almendra

- Variación de almendra en racimo 2 - 20% (2.048 palmas)
- Normalmente 5% en racimo - incremento por selección 13%
- Genera ingresos de US\$ 100 por 100 toneladas

Cuesco delgado en material ténera

- Variación cuesco en fruto 2,8 - 20%
- Estado actual cuesco en fruto 12% - Disminución entre 2,8 y 7,4%

Fruto grande en duras

- Actualmente 10 g por fruto.
- Incremento por selección entre 24 y 34 gramos por fruto.

Índice de racimo

- Variable alométrica que relaciona biomasa y racimo el criterio de selección es mayor que 0,6.
- Variaciones entre 0,25 – 0,70

Lento crecimiento del tallo

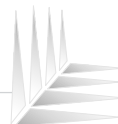
- Variación entre 30 cm. y 90 cm.

Tabla 7. Clasificación de la variabilidad existente con base en 22 características morfoagronómicas

Grupo	Variación	Variación acumulada	Característica explicativa
1	33,1	33,1	RFF – ACP
2	22,7	55,8	NR – PSF – MSV
3	12,6	68,4	ACR – MF
4	5,6	74,0	PMR
5	5,2	79,2	CF
6	4,9	84,1	ALTP
7	4,4	88,5	AF
8	4,3	92,7	LR
9	2,7	95,4	ICA
10	1,8	97,3	NF

Tabla 8. Cruzamiento entre grupos y características deseables

Cruzamiento entre grupos	Característica
1 x 3 x 6	Altura+ RFF + Aceite/Racimo
3	> Aceite/Racimo
1 x 3	RFF x Aceite/Racimo Aceite en palma
1 x 6	< Altura x > RFF
4 x 2	Peso de racimo x número racimo
Cruzamiento complementario	
1 x 2 x 3	Compacta x RFF x Aceite/Racimo



- Fuente Dumpy E-206 Crecimiento menor en 20% en relación con familias Ténera La Mé y Yangamby (Zaire).

Longitud del raquis

- Normal 10 - 15 cm
- Variaciones entre 5 - 45 cm
- Facilita la cosecha y reduce costos (cosecha mecánica).

Color del fruto

- Virescens (verde)
- Alto contenido de carotenos.
- Facilita y reduce los costos de la cosecha.

Variación genética de las palmas tipo Dura

La variación genética definida como la variación estructural a nivel del ADN, dada por el polimorfismo que generan algunas enzimas de restricción o cebadores, permitió evaluar más de 160 palmas representativas de los grupos clasificados morfoagronómicamente.

Marco para el manejo actual y futuro del recurso genético

Las técnicas biotecnológicas que se han desarrollado de manera creciente son el instrumento moderno más eficaz para manipular la variación genética presente en el recurso genético, así como su conservación.

1. Germoplasma *in vitro*.
2. Conservación de germoplasma *in vitro* y en criopreservación.
3. Relacionamiento evolutivo mediante marcadores moleculares
4. Evaluación de la diversidad genética (RFLP, AFLP, SSR)
5. Identificación de genes o alelos útiles en poblaciones segregantes vía PCR
6. Indexación de enfermedades mediante marcadores moleculares o anticuerpos.
7. Ingeniería genética para la transferencia de genes entre especies.
8. Conservación de ADN, de genes útiles y raros.



BIBLIOGRAFÍA

- Breure, C. J.; Bos, I. 1992. Development of elite families in oil palm (*Elaeis guineensis*, Jacq.). *Euphytica*, 64: 99-112.
- Falconer, *et al.* 1996. Introduction to Quantitative Genetics. Logman, Harlow, 3rd edn.
- Harlan, J.R. 1971. Agricultural origins: centers and non-centers. *Science*, 174: 468-74.
- Hartley, C.W.S. 1988. The oil palm. Tropical Agricultura Series, Longman, London. 3rd ed.
- Hayati, A; Wickneswari, R; Maizura, I; Rajanaidu, N. 2004. Genetic Diversity of Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Germplasm collections from Africa: Implications for Improvement and Conservation of Genetic Resources. Theoretical Applied Genetics 108: 1274-1284
- Lleras, E; Coradin, L. 1985. Palmeras nativas como oleaginosas: situación actual y perspectivas para América Latina. In: Seminario Taller sobre oleaginosas promisorias. Informe. Bogotá. p 92-143.
- Mohammadi, S.A; Prasanna, B.M. 2003. Analysis of genetic diversity in crop plants-salient statistical tools and considerations. *Crop Science*. 43: 1235-1248.
- Montoya C, J; Arias, D; Rey, L. Rocha, P. 2005 "Evaluación preliminar de la diversidad genética del banco de germoplasma *Elaeis guineensis* (jacq.) proveniente de Angola mediante marcadores moleculares" *Ceniavances*.
- Rajanaidu, N; Jalani, B.S; Kushari, *et al.* 1999. Breeding strategies for the oil palm planting materials PS1 and PS2 and future PS series. In Proc. of seminar on PS1 and PS2 Oil Palms Materials. MPOB Malasia. 76-90pp.