



NOTA CIENTÍFICA

Selección genética de plantas elites de palma aceitera, utilizando software SELEGEN REML/BLUP

Genetic selection of elite plants of oil palm using SELEGEN REML / BLUP software

Carlos Oliva^{1,*}; Julián Chura Ch.²; Harvey Pinedo³

¹ Phi Peruvian Consultores SAC, Av. Ricardo Palma N° 776 – Urb. San Joaquín – Bellavista – Callao, Lima, Perú.

² Universidad Nacional Agraria La Molina, Av. La Molina s/n - La Molina – Lima, Perú.

³ Palmagro SAC, Calle 2 Mz E Lote 6 – Urb. El Bosque – Yarinacocha – Ucayali, Perú.

Recibido 14 mayo 2014. Aceptado 20 septiembre 2014.

Resumen

La palma aceitera es uno de cultivos de la Amazonía Peruana, que genera en los inversionistas mayor interés, que ha permitido instalar al menos 70 mil ha. Al Perú ha ingresado semillas de palma aceitera de alto valor genético, por su resistencia a enfermedad, plagas y alto rendimiento, pero durante el tiempo ha experimentado variabilidad en los diferentes ecosistemas del país. Este trabajo tuvo por objetivo la selección genética computarizada para la selección de plantas elites de alto rendimiento de racimos de fruta fresca (RFF) de palma aceitera. Para realizar el análisis genético computarizado, se dispuso del software SELEGEN Rml/Blup, que es un programa diseñado para el análisis y la selección. Benin y Costa de Marfil son las que tienen mejor promedio, cuyo valor mínimo es de 22,1 kg/planta y el valor máximo corresponde de 375,9 kg/planta. El híbrido 2301 tiene los mejores promedios de rendimiento, seguido por el híbrido 2401, cuyo valores de rendimiento extremos máximo superior a 340 kg/planta. El primer año, el rendimiento promedio fue de 46,62 kg/planta y para el tercer año de producción el promedio pasó a 142,82 kg/pl. La repetibilidad individual para rendimiento de RFF kg/planta en ambos grupos 2007 y 2008 fue de 0,10 y la repetibilidad del promedio de cosechas fue de 0,87 y 0,82 para los grupos 2007 y 2008, respectivamente. Esto propició una exactitud selectiva de 0,93 para el grupo 2007 y de 0,90 para el grupo del 2008.

Palabras clave: SELEGEN, plantas elites, rendimiento, selección.

Abstract

Oil palm cultivation is one of the Peruvian Amazon, which generates more interest among investors, which has allowed to install at least 70 thousand of ha. When Peru has entered oil palm seeds of high genetic value, resistance to disease, pests and high performance, but over time has experienced variability in different ecosystems of the country. This study aimed to computerized genetic selection for selection of elite plants of high performance fresh fruit bunches (FFB) of oil palm. For the computerized genetic analysis were available from SELEGEN Rml/Bloop software program that is designed for the analysis and selection. Benin and Ivory Coast are the ones with the best average, the minimum value is 22.1 kg/plant and the maximum value corresponds to 375.9 kg/plant. The 2301 hybrid has the best average performance, followed by the hybrid 2401, the maximum yield extreme values exceeding 340 kg/plant. The first year, the average yield was 46.62 kg/plant and for the third year of production, the average rose to 142.82 kg/pl. Individual performance repeatability for RFF kg/plant in both groups 2007 and 2008 was 0.10 and the repeatability of the average crop was 0.87 and 0.82 for groups 2007 and 2008, respectively. This led to a selective accuracy of 0.93 for 2007 and 0.90 for the group 2008.

Keywords: SELEGEN, elite plants, performance, selection.

1. Introducción

El cultivo de palma aceitera, es una de las

actividades más importantes de la Amazonía Peruana, acción que ha

* Autor para correspondencia

E-mail: olivaproyectos@gmail.com (C. Oliva).

permitido instalar aproximadamente 70 mil ha en Ucayali (Gobierno regional de Ucayali, 2011), las mismas que están en diferentes ecosistemas y en diferentes edades. Se estima que en el año 2012 al Perú ha ingresado 10 millones de semillas de palma aceitera, procedentes de 5 países como: Benín, Costa de Marfil, Costa Rica, Ecuador y Colombia.

Las semillas que ingresaron a nuestro país son mejoradas, las mismas que presentan solidas fichas técnicas que proyectan alto rendimiento (60 kg/planta al primer año de producción), por lo que ha generado altas expectativas en nuestro país. Después de algunos años en producción se ha podido observar que este material genético, viene experimentando altos niveles de variabilidad en el rendimiento (valores que fluctúan entre 15 a 160 kg/planta), esto debido al efecto de la adaptación del material genético bajo nuestras condiciones, creando incertidumbre y dificultad para elegir la semilla de mejor procedencia para implementar la frontera agrícola.

La obtención de semilla mejorada de palma aceitera es muy especializada, por lo que si no aprovechamos el material genético que ya está adaptado a nuestras condiciones y de alto rendimiento para obtener semillas de palma aceitera, seguiremos condicionados a la importación de semillas y por ende con la alta variabilidad en la producción. Por ello se hace necesarios tomar como base el material genético de las 5 procedencias e identificar fenotípicamente plantas de alto rendimiento y sobre esa data seleccionar plantas elites mediante “Selección Genética Computarizada RELM/BLUP”.

Existen trabajos de selección genética computarizada realizada en especies perennes en nuestro país como el cacao y el camu camu cuyo análisis ha permitido ganancias genéticas encima del 100%, permitiendo disponer de plantas elites de alto rendimiento como fuente de semillas para la ampliación de la frontera agrícola (Oliva y Resende, 2008; Oliva *et al.*, 2014).

2. Materiales y métodos

Material genético

El material genético utilizado en la selección genética computarizada de palma aceitera de 5 procedencias (países) son: Benín 2301 (Cirad), Benín 2401 (Cirad), Costa de Marfil (Cirad), Costa Rica (ASD), Ecuador (Cirad), Colombia 1001 (Cirad). El material genético fue sembrado en campo definitivo en los años 2007 y 2008, por lo que fue posible evaluar plantas en producción.

Variables de selección

El análisis de selección genética computarizada, se realizó en base al rendimiento de racimos de fruta fresca (RFF) de palma aceitera, el mismo que fue dividido en 2 grupos (Grupo 01: Plantas procedentes de BENIN y Costa de Marfil; Grupo 02: Plantas procedentes de Costa Rica, Ecuador y Colombia), debido a diferencia de edad de las plantas y que por criterio técnico era absolutamente imposible analizarlos en un solo grupo.

Modelo genético

Pedrozo *et al.* (2009) proyectó el procedimiento del Modelo 63, modelo básico sin repetibilidad. Este modelo se utilizó cuando los datos repetidos eran tomados de plantas individuales sin el uso de diseños experimentales.

Del modelo estadístico $y = Xm + Wp + e$, donde “y” es el vector de datos, “m” es el vector de los efectos de la medición de (que se supone fijo) añadido a la media global, “p” es el vector de los efectos permanentes de las plantas (+ efectos genotípica de los efectos ambientales permanentes) (supone que aleatorio) “e” es el vector de errores o residuos (al azar).

Los valores genotípicos de cada planta serán estimados por $\hat{g}_i = MG + \beta_p (MP_i - MG)$, en que: $\beta_p = m\hat{p} / 1 + (m - 1)$, \hat{p} : coeficiente de determinación del valor fenotípico permanente o repetitividad de la media de: $m = 4$ mediciones en el individuo. \hat{p} : Estimativa de la repetitividad individual. MG : media general de las plantas en varias mediciones; MP_i : media

general da la planta *i* en las varias mediciones.

La ganancia genética será estimada como el promedio de valores genotípicos de los individuos seleccionados.

3. Resultados y discusión

De las 5 procedencias, los de Benín y Costa de Marfil son las que tienen mejor promedio de peso de racimos por planta, debido a ello se explica el amplio rango de los valores extremos, cuyo valor mínimo es de 22,1 kg/planta y el valor máximo corresponde a 375,9 kg/planta. Para el caso de las procedencias Costa Rica, Ecuador y Colombia se observan que el promedio es menor a las procedencias de Benín y Costa de Marfil con 69,82 kg/planta, 43,30 kg/planta y 53,67 kg/planta respectivamente, esto debido a que los datos corresponden a los 2 primeros años de producción, pero a pesar de ello en la procedencia de Ecuador se observa el menor promedio con 43,302 kg/planta (Resende y Oliveira, 1997).

Tabla 1

Rendimiento de palma aceitera en el Perú según procedencias (en RFF kg/planta)

Procedencia	Promedio (kg/planta)	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Benín	98,03	54,67	22,1	375,9
Costa de marfil	92,38	43,41	26,0	216,6
Costa rica	69,82	35,69	33,5	172,8
Ecuador	43,30	8,68	24,0	59,7
Colombia	53,67	17,46	32,3	104,4
Total	85,47	49,45	22,1	375,9

Dentro de las 5 procedencias, se consolidaron 6 híbridos, de código 2301, 2401, CIRAD, ASD, CIRAD (Ecuador) y 1001. Se observó que el híbrido 2301 tiene los mejores promedios de rendimiento, seguido por el híbrido 2401, ambos de procedencia BENIN. Además en ambos híbridos se observan valores de rendimiento extremos máximo superior a 340 kg/planta.

En los híbridos restantes ASD, CIRAD-E y 1001, que corresponden a las procedencias de Costa Rica, Ecuador y Colombia, se observó que la procedencia de Ecuador es

el que reporta menor rendimiento promedio (43,302 kg/planta).

Tabla 2

Rendimiento de palma aceitera introducidas al Perú según híbridos (en RFF kg/planta)

Híbrido	Promedio (kg/planta)	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
2301	102,84	65,05	34,8	375,9
2401	95,63	48,68	22,1	342,0
CIRAD	92,38	43,41	26,0	342,0
ASD	69,82	35,69	33,5	172,8
CIRAD-E	43,30	8,68	24,0	59,7
1001	53,67	17,46	32,3	104,4
Total	85,47	49,45	22,1	375,9

Para el grupo 2007, se encontró que el promedio de rendimiento de un año a otro es significativo, es decir, en el primer año de producción el rendimiento promedio fue de 46,62 kg/planta, con valores extremos que van desde 22,1 hasta 100 kg/planta. Para el segundo año de producción el promedio se incrementó a 100 kg/planta, con valores extremos de 71,3 hasta 133,4 kg/planta y para el tercer año de producción el promedio pasó a 142,82 kg/planta, con valores extremos que va desde 57,4 hasta 375,9 kg/planta (Tabla 3).

Tabla 3

Rendimiento de palma aceitera según evaluaciones en campo definitivo-Grupo 2007 (en RFF kg/planta)

Evaluación	Promedio (kg/planta)	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
1	46,62	8,48	22,1	100,9
2	100,41	14,68	71,3	133,4
3	142,83	56,64	57,4	375,9
Total	96,62	52,08	22,1	375,9

Para el grupo 2008, se observaron diferencias marcadas en el rendimiento de un año para otro, por ello es fundamental la comparación de plantas que tengan similar edad y bajo condiciones de manejo uniformes. En el primer año el rendimiento promedio fue de 40,50 kg/planta, con valores extremos que van desde 32,3 hasta 51 kg/planta y en el segundo año el promedio se incrementó hasta 73,09 kg/planta con valores extremos que van desde 24 kg/planta hasta 172,8 kg/planta (Tabla 4).

Tabla 4

Rendimiento de palma aceitera según evaluaciones en campo definitivo-Grupo 2008 (en RFF kg/planta)

Evaluación	Promedio		Mínimo	Máximo
	(kg/planta)	Desviación estándar		
1	40,51	4,54	32,3	51,0
2	73,09	26,32	24,0	172,8
Total	56,80	24,93	24,0	172,8

La repetitividad individual para rendimiento de racimos de fruta fresca (RFF) kg/planta en ambos grupos 2007 y 2008 es 0,10 y la repetitividad del promedio de cosechas es de 0,87 y 0,82 para los grupos 2007 y 2008, respectivamente (Tabla 5). Así, la selección basada en este promedio propicia exactitud selectiva de 0,93 para el grupo 2007 y de 0,90 para el grupo del 2008. Con estos indicadores es posible realizar la selección de genotipos superiores con alto nivel de precisión (Resende, 1997; Resende, 2002).

Tabla 5

Componentes de varianza asociados a la producción rendimiento en kg/planta de racimos de fruta fresca (RFF) palma aceitera, con material genético de cinco procedencias, estimados por máxima verosimilitud restringida (REML)

Componentes de varianza	Elites	
	2007	2008
Varianza Fenotípica permanente	373,902	109,023
Varianza ambiental temporaria	3365,118	981,210
Varianza fenotípica individual	3739,020	1090,233
Repetitividad individual	0,10±0,80	0,10±0,11
repetitividad de media de cosecha	0,870	0,816
Exactitud selectiva	0,933	0,904
Media general	141,239	70,413

Los resultados revelan un limitado potencial para obtener ganancia genética en esta población, esto debido a que la base genética en evaluación es producto de un mejoramiento genético previo que ha sido realizado en el país de procedencia. Es decir sobre la base de una población mejorada no se espera ganancias genéticas altas en la nueva selección.

Tabla 6

Selección genética asociados a la producción de frutos de palma aceitera

Orden	Árbol	Valor Fenotípico	Valor Genético	Ganancia genética	Promedio Población mejorada	Ganancia
1	4	16,65	157,89	16,65	157,89	11,79
2	13	12,51	153,75	14,58	155,82	10,32
3	25	12,28	153,52	13,81	131,62	9,78
4	3	8,50	149,74	12,49	153,72	8,84
5	5	8,47	149,71	11,68	152,92	8,27
6	54	8,43	149,67	11,14	152,38	7,89
7	111	7,19	148,42	10,58	151,82	7,49
8	105	6,73	147,96	10,09	151,33	7,15
9	42	6,54	147,78	9,70	150,94	6,87
10	11	6,32	147,56	9,36	150,60	6,63
11	48	5,92	147,16	9,05	150,29	6,41
12	120	5,76	147,00	8,78	150,01	6,21
13	22	5,49	146,73	8,52	149,76	6,03
14	7	5,17	146,41	8,28	149,52	5,86
15	99	5,11	146,35	8,07	149,31	5,72
16	129	6,20	76,61	6,20	76,81	8,81
17	127	9,94	75,36	5,57	75,99	7,91
18	138	4,72	75,13	5,29	75,10	7,51
19	126	4,70	75,11	5,14	75,55	7,30
20	123	4,18	74,59	4,95	75,36	7,03
21	125	4,12	74,53	4,81	75,22	6,83

Tabla 7

Comportamiento productivo de plantas elites seleccionadas según procedencia e híbrido - Perú

Número de planta	Código de planta	País	Híbrido/Variiedad	Rendimiento kg/planta
3	A1L04P26	Benin	2301	265,6
4	A1L08P11	Benin	2301	375,86
5	A1L08P22	Benin	2301	247,2
7	A1L11P17	Benin	2301	221,89
11	A1L15P17	Benin	2301	213,36
13	A1L22P21	Benin	2301	331,2
22	A1L41P17	Benin	2301	214,56
25	A1L59P07	Benin	2301	312,6
42	A2L116P06	Benin	2401	243
48	A2L102P11	Benin	2401	228
54	A2L83P14	Benin	2401	218
99	A5L36P18	Costa de marfil	Cirad	212,4
105	A5L44P24	Costa de marfil	Cirad	210,4
111	A5L64P02	Costa de marfil	Cirad	228
120	A5L73P28	Costa de marfil	ASD	224,4
123	C10L06P25	Costa rica	ASD	117
125	C10L06P28	Costa rica	ASD	115,2
126	C10L06P30	Costa rica	ASD	133,22
127	C10L06P27	Costa rica	ASD	116,48
129	C10L06P24	Costa rica	ASD	137,28

Los resultados de la selección genética, revelan un bajo potencial para obtener ganancia genética en esta población. La selección y clonación de los 15 mejores individuos deberá propiciar una ganancia genética de 5,72%, elevando la productividad media anual por planta de 141,24 kg RFF/año para 149,31 kg RFF/año (Tabla 6). Esto es debido al hecho de que la especie demuestra niveles de uniformidad dentro de cada procedencia, esto debido a que las semillas son mejoradas en su país de procedencia y por ello la existencia de variabilidad es baja. Así, la mejora genética de la palma aceitera en nuestro país estaría basada en esta nueva base genética, quedando en el corto plazo la clonación de las plantas elites y ampliar la frontera agrícola.

En las plantas del grupo más joven que va desde el 16 al 21 (Tabla 6), se observa que también la ganancia genética es mínima, es decir si logramos clonar las 6 mejores plantas (16, 17, 18, 19, 20, y 21), se lograría una ganancia genética al orden de 6,83% es decir pasar de una media de 70,41 kg RFF/planta/año a 75,22 kg RFF/planta/año. A este nivel sólo se

reportó plantas de la procedencia de Costa Rica y Costa de Marfil.

De acuerdo a la codificación de las plantas elites, se observa que no existe una planta de procedencia Colombiana y de Ecuador y esto confirme la realidad productiva, que son de baja respuesta en nuestras condiciones y por ello han dejado de importar semillas de esta procedencia.

4. Conclusiones

Se ha realizado la selección genética, sobre la cual se ha logrado la selección de 21 plantas elites, con ganancias genéticas que van entre 5,72% a 11,79%.

Las plantas identificadas del grupo 2007, superan los 200 kilos en rendimiento de RFF/año y las plantas del grupo 2008 no han llegado a superar los 200 kilos.

La población en estudio, tiene baja variabilidad genética, atribuyendo mayor variabilidad por el efecto del medio ambiente, esto debido a que el material genético es de procedencia mejorada genéticamente.

Se ha identificado material genético elite de 3 procedencias (Benin, Costa de Marfil

y Costa Rica), lo mismo que involucran a 4 híbridos 2301, 2401, CIRAD y ASD.

El material genético de Colombia, no ha sobresalido en la selección, es posible que esto confirme la poca introducción del material genético a nuestro país por su bajo rendimiento en nuestras condiciones.

5. Referencias bibliográficas

- Gobierno Regional de Ucayali. 2011. Situación Actual de la Palma Aceitera en el Perú. Exposición en Power Point.
- Oliva, C.; Resende, M.D.V. 2008. Mejoramiento genético y tasa de autofecundación del camu camu arbustivo en la amazonía peruana. *Rev. Bras. Frutic. (Jaboticabal)* 30(2): 450-454.
- Oliva, C.; Benito, J.; Acuña, R.; Bocanegra, A.; Baltazar, J. 2014. Estimación de la repetitividad y selección genética de árboles de cacao aromático con material genético de EE-INIA-San Martín y de la UC de Lebuaf, en Perú. *Scientia Agropecuaria* 5: 59-64.
- Pedrozo, C.A.; Benites, F.R.G.; Barbosa, M.H.P.; de Resende, M.D.V.; da Silva, F.L. 2009. Eficiencia de Índices de Selección Utilizando la Metodología Reml/Blup en el Mejoramiento de la Cana-De-Açúcar. *Scientia Agraria (Curitiba)* 10(1): 31-36.
- Resende, M.D.V.; Oliveira, E.B. 1997. Sistema "SELEGEN" – Seleção Genética Computadorizada para o Melhoramento de Espécies Perenes. *Revista PAB (Colombo)* 32(9): 931-939.
- Resende, M.D.V. 1997. Software SELEGEN - REML/BLUP. EMBRAPA, Colombo. Manual Selegen.
- Resende, M.D.V. 2002. Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 975p.