



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Estimación de los componentes de variación genética en fase vegetativa de progenies de palma americana de aceite (*Elaeis oleifera*)

LEIDY PAOLA MORENO CAICEDO

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Palmira, Colombia

2022

Estimación de los componentes de variación genética en fase vegetativa de progenies de palma americana de aceite (*Elaeis oleifera*)

Leidy Paola Moreno Caicedo

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ciencias Agrarias

Director:

I. A. Esp. Ph.D Jaime Eduardo Muñoz Flórez

Codirectores:

IA M.Sc. Silvio Bastidas Pérez

IA M.Sc. Ph.D Rafael Reyes Cuesta

Línea de Investigación:

Fitomejoramiento

Grupo de Investigación:

Mejoramiento genético vegetal, uso y aprovechamiento de la agrobiodiversidad (MGVA)

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Palmira, Colombia

2022

Dedicatoria

A Dios que rige nuestras vidas.

A mis padres Florinda y Jorge a quienes admiro, respeto y amo. Gracias por brindarme su amor de padres, motivo para superarme cada día, por estar en los momentos más difíciles, y a su vez retribuyo gran parte de ese esfuerzo con este logro.

A mi Hermana Yenny de quien he recibido motivación para lograr metas en la vida.

A mi novio Jorge que me ha apoyado en el proceso de formación.

A mis sobrinos, familiares y amigos.

Y a todas aquellas personas quienes de alguna forma aportaron para el cumplimiento de esta meta.

“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad”.

Albert Einstein

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

Leidy Paola Moreno Caicedo

Fecha 18-08-2022

Fecha

Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos a:

Dios, porque sin él, nada de esto sería posible.

A la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, que me brindó la oportunidad para fortalecer mis conocimientos.

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia, adscrita al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) de Colombia por financiar este estudio con recursos recibidos en el marco de la ley 1731 de 2014, el cual formó parte de los macroproyectos “Generación de bases tecnológicas para el desarrollo de sistemas productivos sostenibles y competitivos en palmáceas de interés económico” y “Desarrollo de tecnología para especies palmáceas cultivadas y no cultivadas en Colombia”.

A los doctores Silvio Bastidas y Rafael Reyes de Agrosavia por su apoyo continuo y colaboración permanente.

Al profesor Jaime Eduardo Muñoz de la Universidad Nacional sede Palmira por la orientación en el desarrollo del presente documento.

A todos mis compañeros del centro de investigación (CI) El Mira (Tumaco) de Agrosavia y en especial a Oscar Loaiza y a Doña Mariela Guerrero (Q.E.P.D) que me acompañaron en el proceso de registro de información y todo el personal del CI El Mira de Agrosavia por su colaboración en el registro y realización de labores de campo necesarias para el desarrollo de la presente investigación.

A mis compañeros de grupo de maestría y docentes de la Universidad Nacional sede Palmira por el aprendizaje continuo.

Y a todas aquellas personas que no menciono, pero que con sus aportes fortalecieron este trabajo.

Resumen

Elaeis oleifera es una palma originaria de América y existe poca investigación sobre los parámetros genéticos para los programas de mejoramiento. Se evaluaron 24 progenies en vivero (10 y 12 meses) y 16 progenies en etapa juvenil (14, 21 y 40 meses); en respuesta a quince rasgos vegetativos y se realizó el análisis genético con el diseño Carolina del Norte I para estimar parámetros genéticos y fenotípicos en progenies de *E. oleifera* de la colección de trabajo de Agrosavia. Se realizó análisis de varianza individual y combinado con el procedimiento GLM del programa estadístico SASv9.4. En vivero la fuente de variación hembras dentro de machos presentó diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$) para diámetro de tallo, altura de planta, largo y ancho de folíolos, largo de raquis, área de la sección del pecíolo y número de hojas; diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para número de folíolos. La mayor proporción de varianza genética se atribuyó a efectos de dominancia. En la etapa juvenil, la varianza fenotípica fue mayor que la varianza genotípica; la máxima variación fenotípica 14 y 21 meses fue para longitud de raquis 875,10 y 868, y la menor variación para longitud de hoja 0,160 y 0,13 respectivamente; a los 40 meses se encontró la mayor varianza fenotípica para longitud de raquis 2135,27 y la menor para peso seco de hoja 0,17. Las estimaciones de la heredabilidad en sentido amplio presentaron valores de 79,11 a 96,58% a los 10 meses y de 41,79 a 97,16% a los 12 meses y en etapa juvenil de 63,03 a 97,09%; 57,14 a 93,44% y 37,67% a 82,53% a los 14, 21 y 40 meses respectivamente bajo las condiciones de estudio. Se sugiere que la población debe seguir un esquema de hibridación y selección individual dentro de las progenies mediante el sistema de selección recurrente intrapoblacional.

Palabras clave: Noli, Diseño Carolina del Norte I, colección de trabajo, Sinú, Heredabilidad, selección recurrente

Abstract

Elaeis oleifera is a palm native to America and there is little research on genetic parameters for breeding programs. Twenty-four progenies were evaluated in the nursery (10 and 12 months) and 16 progenies in the juvenile stage (14, 21 and 40 months); in response to fifteen vegetative traits, and genetic analysis was performed with the North Carolina I design to estimate genetic and phenotypic parameters in *E. oleifera* progenies from the Agrosavia working collection. Individual and combined analysis of variance was performed with the GLM procedure of the SASv9.4 statistical program. In the nursery, the source of female variation within males presented highly significant differences ($P \leq 0.01$) for stem diameter, plant height, length and width of leaflets, length of rachis, area of the petiole section and number of leaves. Significant differences ($P \leq 0.05$) for number of leaflets. The highest proportion of genetic variance was attributed to dominance effects. In the juvenile stage, the phenotypic variance was greater than the genotypic variance; the maximum phenotypic variation at 14 and 21 months was for rachis length 875.10 and 868, and the least variation for leaf length was 0.160 and 0.13, respectively. At 40 months, the highest phenotypic variance was found for rachis length 2135.27 and the lowest for leaf dry weight 0.17. The heritability estimates in a broad sense presented values from 79.11 to 96.58% at 10 months and from 41.79 to 97.16% at 12 months and in the juvenile stage from 63.03 to 97.09%, 57.14 to 93.44% and 37.67% to 82.53% at 14, 21 and 40 months, respectively, under the study conditions. It is suggested that the population should follow a hybridization and individual selection scheme within the progenies through the intrapopulation recurrent selection system.

Keywords: Noli, Design North Carolina I, Work Collection, Sinú, Heritability, recurrent selection

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Abstract	X
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XIV
Lista de Símbolos y abreviaturas	XVII
Introducción	1
Objetivos	5
1. Marco teórico	7
1.1 Contexto nacional de la producción de palma de aceite	7
1.2 Palma africana de aceite	8
1.3 Palma americana de aceite	11
1.4 Mejoramiento genético e Híbridos interespecíficos (<i>Elaeis oleifera</i> x <i>Elaeis guineensis</i>)	14
1.5 Caracterización morfológica de progenies de palma de aceite	16
1.6 Componentes de variación genética	19
1.7 Diseño I de Carolina del Norte.....	21
Bibliografía.....	22
2. Capítulo 1. Caracterización cuantitativa de 24 progenies origen Sinú de palma americana de aceite (<i>Elaeis oleifera</i>) en fase de vivero.	37
Introducción	37
2.1 Materiales y métodos	40
2.1.1 Localización	40
2.1.2 Material vegetal	40
2.1.3 Variables Respuesta.....	43
2.1.3.1 Caracterización de parentales	43
2.1.3.2 Variables morfológicas en plantas en fase de vivero	44
2.1.4 Análisis estadísticos	46
2.1.5 Estimación de componentes de la varianza y parámetros genéticos	47
2.2 Resultados y discusión.....	49
2.2.1 Caracterización morfológica de parentales	50
2.2.2 Estadística descriptiva de caracteres morfológicos.....	51
2.2.3 Análisis de varianza de caracteres morfológicos en fase de vivero.....	55

2.2.4 Componentes de la varianza y parámetros genéticos	58
2.2.4 Análisis de correlación.....	60
2.2.5 Análisis de componentes principales.....	64
Conclusiones.....	68
Bibliografía	70

3. Capítulo 2. Caracterización cuantitativa de 16 progenies de palma americana (*Elaeis oleifera*) Sinú en fase juvenil de establecimiento en campo.

	79
Introducción.....	79
3.1 Materiales y métodos.....	81
3.1.1 Localización	81
3.1.2 Material vegetal.....	82
3.1.3 Variables Respuesta	83
3.1.3.1 Variables morfológicas en fase juvenil de campo	83
3.1.4 Análisis estadístico.....	85
3.1.5 Estimados de componentes de la varianza y parámetros genéticos.....	85
3.2 Resultados y discusión	88
3.2.3 Análisis de varianza de caracteres morfológicos en fase juvenil de campo ...	88
3.2.4 Componentes de la varianza y parámetros genéticos	95
3.2.5 Análisis de correlación.....	99
3.2.6 Análisis de componentes principales.....	101
Conclusiones.....	105
Bibliografía	105

4. Conclusiones y recomendaciones..... 113

4.1 Conclusiones	113
4.2 Recomendaciones	114

A. Anexo: Variables fenotípicas a los 10 meses de establecidas en vivero de 24 progenies de palma *Elaeis oleifera* de la de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia CI El Mira, Tumaco-Nariño-Colombia (Colombia)
115

B. Anexo: Variables fenotípicas a los 12 meses de establecidas en vivero de 24 progenies de palma *Elaeis oleifera* de la de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia CI El Mira, Tumaco-Nariño-Colombia (Colombia)
116

C. Anexo: Correlaciones entre variables en etapa vivero para las variables Altura Vs Diámetro de tallo, Altura Vs Numero de foliolos y Altura Vs Largo del Raquis..... 117

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Tipos de fruto de la palma <i>E. guineensis</i> A. dura. B. Pisifera. C. tenera. .	9
Figura 2-1: Plantas de palma americana tres meses después de siembra en vivero.....	40
Figura 2-2: Flujograma del proceso de producción de semilla de palma de aceite.	42
Figura 2-3: inflorescencias de palma americana Sinú. A. tipo Normal, B. tipo prolífico y porcentaje de fibras C. inflorescencia 25% de cobertura; D. inflorescencia 50% de cobertura. E. inflorescencia 75% de cobertura	43
Figura 2-4: Coloración fruto inmaduro de palma americana Sinú. A. tipo amarillo, B. tipo amarillo mostaza y C. tipo verde. Color fruto Maduro D. Amarillo, E. Naranja y F. Rojo ..	44
Figura 2-5: Pseudo t determinación del número de cluster	66
Figura 2-6: Agrupamiento de los materiales <i>E. oleifera</i> Sinú en fase de vivero basado en el análisis de componentes principales; la distancia utilizada es la Media aritmética no ponderada- UPGMA. Tumaco, Nariño (Colombia).....	67
Figura 3-1: Plantas de <i>Elaeis oleifera</i> A y B. plantas 14 meses después de siembra en campo; C y D plantas 40 meses después de siembra en campo.....	82
Figura 3-2: Emisión de inflorescencias en progenies de <i>Elaeis oleifera</i> Sinú 40 meses después de siembra en campo.....	95
Figura 3-3: Pseudo t determinación del número de cluster.....	103
Figura 3-3: Agrupamiento de los materiales <i>E. oleifera</i> en fase juvenil de campo basado en el análisis de componentes principales; la distancia utilizada es la Media aritmética no ponderada- UPGMA. Tumaco, Nariño (Colombia).....	104

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1-1: Características del aceite de la palma americana, palma africana e híbridos interespecíficos OxG.....	15
Tabla 2-1: Genealogía de las 24 progenies <i>E. oleífera</i> evaluadas en etapa de vivero. ...	41
Tabla 2-2: Criterios para la selección de palmas óptimas fase de vivero	43
Tabla 2-3: Descriptores utilizados para caracterizar progenitores femeninos y masculinos seleccionados de la colección de trabajo de la palma americana de aceite <i>E. oleífera</i> origen Sinú de Agrosavia.	44
Tabla 2-4: Medidas biométricas utilizadas para caracterizar la colección de trabajo de la palma americana de aceite <i>E. oleífera</i> en etapa de vivero.	45
Tabla 2-5: Análisis de varianza para el Diseño I Carolina del Norte y esperanzas del cuadrado medio.	48
Tabla 2-6: Caracterización morfológica de progenitores Sinú seleccionados para diseño carolina Norte I.....	50
Tabla 2-7: Variables fenotípicas calculadas a partir de parámetros morfológicos a los 10 y 12 meses de establecidas en vivero de 24 progenies de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia CI El Mira, Tumaco-Nariño- (Colombia)	54
Tabla 2-8: Cuadrados medios del análisis individual de varianza según diseño genético carolina Norte I 10 meses de establecidas en vivero de 24 progenies de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia CI El Mira, Tumaco-Nariño (Colombia)	56
Tabla 2-9: Cuadrados medios del análisis individual de varianza según diseño genético carolina Norte I 12 meses de establecidas en vivero de 24 progenies de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia CI El Mira, Tumaco-Nariño (Colombia)	56
Tabla 2-10: Cuadrados medios del análisis Combinado de varianza según diseño genético carolina Norte I de 24 progenies de la colección de trabajo de palma americana de aceite en fase de vivero ubicadas en el Centro de Investigación El Mira, Tumaco, Nariño (Colombia).....	58
Tabla 2-11: Estimaciones de parámetros genéticos según diseño I de Carolina del Norte de progenies de <i>E. oleífera</i> de la colección de trabajo 10 meses en vivero ubicadas en el Centro de Investigación El Mira, Tumaco, Nariño (Colombia)	59
Tabla 2-12: Estimaciones de parámetros genéticos según diseño I de Carolina del Norte de progenies de <i>E. oleífera</i> de la colección de trabajo 12 meses en vivero ubicadas en el Centro de Investigación El Mira, Tumaco, Nariño (Colombia)	59

Tabla 2-13: *Correlaciones fenotípicas de 24 progenies de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia CI El Mira, Tumaco-Nariño-Colombia* 63

Tabla 2-14: *Estimaciones de varianzas asociados a componentes principales con su respectivo aporte a la variabilidad de 24 progenies de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia CI El Mira, Tumaco-Nariño-Colombia* 64

Tabla 2-15: *Contribución de las variables a los Componentes principales de la variabilidad de 24 progenies de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia CI El Mira, Tumaco-Nariño-Colombia* 65

Tabla 2-16: *Promedios grupos de progenies de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia en etapa de vivero*..... 67

Tabla 3-1: *Genealogía de 16 progenies de la colección de trabajo de E. oleífera en etapa juvenil de campo*. 83

Tabla 3-2: *Medidas biométricas en etapa vegetativa en campo utilizadas para caracterizar la colección de trabajo de la palma americana de aceite o Nolí E. oleífera*. 83

Tabla 2-5: *Estructura del análisis de varianzas para el Diseño I Carolina del Norte empleado en el análisis estadístico*. 87

Tabla 3-4: *Cuadrados medios del análisis Individual de varianzas según diseño genético carolina Norte I de 16 progenies de colección de trabajo de E. oleífera 14 meses después de establecimiento en campo Centro de Investigación El Mira, Tumaco, Nariño (Colombia)*..... 91

Tabla 3-5: *Cuadrados medios del análisis Individual de varianzas según diseño genético carolina Norte I de 16 progenies de colección de trabajo de E. oleífera 21 meses después de establecimiento en campo Centro de Investigación El Mira, Tumaco, Nariño (Colombia)*..... 91

Tabla 3-6: *Cuadrados medios del análisis Individual de varianzas según diseño genético carolina Norte I de 16 progenies de colección de trabajo de E. oleífera 40 meses después de establecimiento en campo Centro de Investigación El Mira, Tumaco, Nariño (Colombia)*..... 94

Tabla 3-7: *Cuadrados medios del análisis Combinado de varianzas según diseño genético carolina Norte I de 16 progenies de colección de trabajo de E. oleífera en fase juvenil de campo en campo Centro de Investigación El Mira, Tumaco, Nariño (Colombia)*..... 94

Tabla 3-8: *Estimaciones de parámetros genéticos diseño I de Carolina del Norte para las variables morfológicas para la colección de trabajo de E. oleífera 14 meses después de establecimiento en campo Centro de Investigación El Mira, Tumaco, Nariño (Colombia)*96

Tabla 3-9: *Estimaciones de parámetros genéticos diseño I de Carolina del Norte para las variables morfológicas para la colección de trabajo de E. oleífera 21 meses después de establecimiento en campo Centro de Investigación El Mira, Tumaco, Nariño (Colombia)*97

Tabla 3-10: *Estimaciones de parámetros genéticos diseño I de Carolina del Norte para las variables morfológicas para la colección de trabajo de E. oleífera 40 meses después de establecimiento en campo Centro de Investigación El Mira, Tumaco, Nariño (Colombia)*..... 98

Tabla 3-11: *Correlaciones fenotípicas de 16 progenies de palma Elaeis oleífera de la de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia CI El Mira, Tumaco-Nariño-Colombia*..... 100

Tabla 3-12: <i>Estimaciones de varianza asociados a siete componentes principales con su respectivo aporte a la variabilidad.....</i>	101
Tabla 3-13: <i>Contribución de las variables a los Componentes principales.....</i>	102
Tabla 3-14: <i>Promedios grupos de progenies de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia en etapa juvenil de campo.</i>	103

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviatura Término

EH	Emisión de hojas
DT	Diámetro del tallo
<i>RFF</i>	Racimos de fruta fresca
AP	Altura planta
NF	Numero de foliolos
LF	Largo de foliolos
AF	Ancho de foliolos
LR	Largo del Raquis
LP	Largo del Pecíolo
ASP	Área de la sección del pecíolo
PSH	Peso seco de la hoja
LH	Largo de hoja
NH	Numero de hojas
AH4	Área de la hoja 4
AFP	Área foliar por palma
IAF	Índice de área foliar
Tm	Toneladas métricas
OxG	<i>Elaeis oleifera</i> x <i>Elaeis guineensis</i>

Introducción

El aceite obtenido de la palma de aceite suministra el 35% de los requerimientos mundiales de aceites y grasas vegetales, con tendencia creciente, y es uno de los principales sectores productivos de Colombia con una participación de 6,2% en el producto interno bruto (PIB) agropecuario (Fedepalma, 2021). La palma de aceite es una especie alógama, perenne pertenece al género *Elaeis*; el cual se encuentra representado por dos especies principales de importancia económica, *Elaeis guineensis* Jacq. (Palma Africana) cuyo centro de origen está en las regiones costeras de África occidental y central, y *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés (Palma americana o palma nolí) que se encuentra distribuida en América central y del Sur, ambas comparten el mismo número de cromosomas ($2n=32$). La especie *E. oleifera* es vista como un recurso genético promisorio y se está utilizando actualmente en los programas de mejoramiento genético de palma de aceite. El interés en germoplasma de dicha especie se debe a algunos rasgos que son útiles en el desarrollo de programas de hibridación con palma africana, tales como: tasa de crecimiento reducida del tallo o estípote, la calidad del aceite (mayor contenido de ácidos grasos insaturados) y tolerancia a enfermedades, incluyendo amarillamiento letal (AL) y la pudrición del cogollo (PC) (Corley & Tinker, 2015; Moura et al. 2013; Lopes et al. 2012; Cunha & Lopes, 2010; Torres et al. 2004; Meunier, 1991; Hardon & Tan, 1969).

En el mundo las plantaciones comerciales de palma de aceite, constituidas principalmente por palma Africana (*E. guineensis*) tipo Ténera, (*dura x pisifera*) se caracterizan por ser homogéneas, es decir, tienen una base genética reducida; los materiales comerciales que emplean los programas de mejoramiento proceden de las cuatro palmas del tipo Dura Deli, del Jardín Botánico de Bogor (Bogor, Java, Indonesia) como progenitores femeninos, cuyo objetivo es la producción de materiales comerciales de siembra con elevado potencial de producción de aceite, racimos y con crecimiento reducido del tallo para prolongar la vida

útil del cultivo que generalmente es de 25 años (Rajanaidu & Ainul, 2013; Sterling & Alvarado, 2002; Rajanaidu & Rao, 2001). Sin embargo, debido a las grandes áreas necesarias para la evaluación de materiales y su elevado costo por ser una especie perenne, se planta un número limitado de individuos por cruce, lo que limita la oferta periódica de cultivares comerciales.

A nivel sanitario en Colombia las plantaciones de palma de aceite africana (*E. guineensis*) han sido afectadas por varias enfermedades como son Anillo Rojo, Mancha anular, Pudrición de Cogollo (PC) y Marchitez Letal (ML), constituyéndose en un grave limitante para la productividad, rentabilidad y sostenibilidad del negocio, originando en gran parte, que el sector no sea competitivo en el mercado internacional (Martínez et al. 2009). Para América y Colombia, la PC es la principal limitante del sistema productivo basado en cultivares Ténera (*dura x pisifera*) de la palma Africana de aceite, la cual ha ocasionado la pérdida de la producción de más de 150.000 ha en los últimos 10 años; a la cual solo son resistentes los híbridos interespecíficos OxG (*E. oleifera x E. guineensis*), que derivan esa característica de la palma Americana de aceite *E. oleifera* resistente a la PC (Romero, 2021; Martínez et al. 2018; Morales et al. 2017). Los híbridos OxG son la única alternativa productiva y con resistencia a la pudrición del cogollo (PC), limitante fitosanitaria de la palma de aceite que amenaza su cultivo y agroindustria, por no disponerse de otras alternativas tecnológicas para su manejo y control; por lo tanto, disponer de parentales *E. oleifera* con atributos de interés para el desarrollo de cultivares híbridos OxG sobresalientes, es una prioridad (Maldonado, 2019; Bastidas et al. 2013; Alvarado et al. 2013). Al respecto, Agrosavia desarrolló el Cultivar OxG F1 Corpoica Elmira resistente a la PC y posee en estudio materiales OxG RC1 y continúa el proceso de obtención de materiales de generaciones avanzadas (Bastidas et al. 2020, 2013).

Las poblaciones silvestres de *E. oleifera* presentan mayor diversidad y variabilidad genética en el género *Elaeis*, constituyen un recurso genético eficaz para ampliar la base genética del cultivo de palma africana de aceite. Conocer la diversidad genética es útil para la identificación y el uso de estos parentales para cruces intra e inter poblacionales, en el desarrollo de cultivares de alto rendimiento, con tolerancia a las enfermedades limitantes del cultivo (Rey et al. 2004; Bastidas et al. 1993, 2013). Sobre los parámetros genéticos

de *E. oleifera* se conoce poco. Se desconoce el grado de variabilidad genética existente entre materiales recolectados y mantenidos en colecciones de trabajo y/o bancos de germoplasma, o la estructura genética de poblaciones silvestres, entre otros factores importantes para la definición de estrategias en un programa de mejoramiento (Ooi et al. 1981). A partir de rasgos morfo-agronómicos y marcadores microsatélites SSR se encontraron la formación de cuatro grupos geográficamente diferentes: 1. Brasil; 2. Perú; 3. Colombia y 4. Ecuador (Arias et al. 2015). También se ha observado existencia de variabilidad genética intra e interpoblacional en *E. oleifera* (Arias et al. 2015; Moretzsohn et al. 2002). La comprensión de la diversidad genética entre y dentro de las especies cultivadas y silvestres sigue siendo esencial para desarrollar estrategias de conservación, recolección y uso de germoplasma en el desarrollo de nuevos cultivares comerciales. Este trabajo genera conocimiento sobre los componentes de la varianza genética y la herencia de las características vegetativas en las progenies de palma americana de aceite *E. oleifera* Sinú en etapa de vivero y juvenil de campo, con el propósito de identificar estrategias eficientes de mejoramiento a aplicar en la especie.

Objetivos

Objetivo General

- Estimar los componentes de varianza genética y herencia de los caracteres vegetativos en progenies recombinantes de palma americana de aceite (*Elaeis oleifera*) Sinú en fase de vivero y juvenil de campo.

Objetivos Específicos

- Caracterizar cuantitativamente 24 progenies recombinantes de *E. oleifera* Sinú respecto a parámetros vegetativos de crecimiento en fase de vivero.
- Caracterizar cuantitativamente 16 progenies recombinantes de *E. oleifera* Sinú respecto a parámetros vegetativos de crecimiento en fase juvenil de campo.
- Estimar varianza genética y fenotípica entre progenies de *E. oleifera* Sinú a fin de discriminar grupos contrastantes en etapa de vivero y juvenil de campo.

1. Marco teórico

1.1 Contexto nacional de la producción de palma de aceite

Colombia es el mayor productor de aceite de palma en América, y ocupa el cuarto puesto a nivel mundial, la producción de aceite de palma y almendra de palmiste durante 2020 representó \$4,1 billones, con una contribución del 9,1% en el PIB agrícola y del 6,2% en el PIB agropecuario nacional (Fedepalma, 2021, 2021a). La producción de aceite de palma nacional durante 2020 se destinó el 54% a mercado nacional y el 46% a exportación. En el país al terminar 2021 se tenía un área sembrada en palma de aceite de 595.723 hectáreas (ha), (Sispa, 2022), para el año 2020 se tenían sembradas 67.919 hectáreas con híbridos interespecíficos OxG (Fedepalma, 2021). El cultivo se encuentra distribuido en 161 municipios correspondientes a 21 departamentos; durante 2020 generó más de 181.000 empleos entre directos e indirectos, en promedio generó 1 empleo formal directo y 2,5 indirectos, por cada 7,5 ha sembradas. La actividad productiva tiene más de 6.250 productores, de los cuales 5.036 son pequeños productores (Fedepalma, 2021; SIOC. 2021).

La demanda de aceites vegetales a nivel global se ha incrementado, durante el periodo 2019- 2020, el volumen de consumo se incrementó pasando de 202,43 millones de Toneladas métricas (Tm) hasta aproximarse a los 207,93 millones de Tm, siendo los principales aceites vegetales el de coco, algodón, oliva, palma aceite, palmiste, maní, canola, soya y girasol; con un gran uso y potencial en las industrias de alimentos,

oleoquímica y producción de combustible biodiesel como fuente de energía renovable. Sin embargo, a pesar de su alto valor comercial y aportar el 35% de los requerimientos mundiales de aceites y grasas vegetales (Fedepalma, 2021), la palma de aceite afronta problemas fitosanitarios que reducen la producción y sostenibilidad del cultivo, como la mancha anular, marchitez sorpresiva, anillo rojo y la pudrición del cogollo (PC) (Martínez et al. 2018; Morales et al. 2017; Martínez et al. 2009; Bastidas et al. 2007). Los retos productivos asociados a mejorar la productividad en palma de aceite, la reducción de brechas tecnológicas entre productores de pequeña, mediana y alta escala; con el fin de afrontar los problemas fitosanitarios del sistema productivo, especialmente en la mitigación de los efectos causados por la PC, son una prioridad que tienen como principal componente la generación de cultivares comerciales de adaptación específica y alta productividad (Fairhurst, 2016; Bastidas et al. 2013; Sanz, 2012).

En Colombia los cultivos de palma africana de aceite están sembrados con cultivares tipo Ténera de la especie africana *E. guineensis*, sin embargo, estos cultivares han mostrado susceptibilidad a problemas fitosanitarios como la pudrición de cogollo. Durante las últimas dos décadas esta enfermedad afectó más de 150.000 ha en Colombia de las cuales 35.200 hectáreas corresponden a Tumaco (Nariño), lo cual redujo cerca de 6.000 empleos directos y 10.200 empleos indirectos (Martínez et al. 2008); diferentes entidades públicas-privadas y centros de investigación han trabajado perfeccionando técnicas de manejo y se han desarrollado algunos materiales de siembra que muestran tolerancia, como es el híbrido interespecífico OxG (*E. oleifera* x *E. guineensis*) (Romero, 2021; Mesa, 2013a, 2013b)

1.2 Palma africana de aceite

La palma africana de aceite *Elaeis guineensis* Jacq. es una planta perenne, alógama, monoica, es decir, presenta flores masculinas y femeninas en la misma planta, pero en inflorescencias separadas; las plantas individuales suelen ser altamente heterocigotas (Chaves et al. 2021; Corley & Tinker, 2015). El genoma de *E. guineensis* es diploide posee

16 pares de cromosomas (Madon et al. 1998, 2001; Schwendiman et al. 1982). Su centro de origen corresponde al cinturón costero de África Occidental y Central entre Guinea y norte de Angola, donde se han encontrado evidencias de polen fósil del Mioceno y estratos más recientes en el delta del Níger (Corley & Tinker, 2015).

El grosor del cuesco es codificado por el gen denominado shell (Sh) determina el espesor de la capa de lignina de la testa de la semilla; establece los tres tipos de fruto que existen de palma de aceite africana: el tipo *dura* (D) como homocigoto dominante (Sh/Sh) presenta cuesco de espesor de 2 a 8 mm en los frutos; el tipo *pisifera* (P) homocigoto recesivo (sh/sh) no posee cuesco, sino un cartílago blando y poseen un anillo de fibras que encierra el cartílago y generalmente produce flores femeninas estériles y el híbrido intraespecífico del cruzamiento DxP corresponde al heterocigoto, *Tenera* (T) (Sh/sh) donde el cuesco es delgado menor a 2mm rodeado por un anillo de fibras oscuras y con 30% más de mesocarpio que el tipo *dura* y con rendimiento mayor de aceite; con herencia monogénica de esta característica (Corley & Tinker, 2015; Beirnaert y Vanderweyen 1941). Los programas de mejoramiento de palma han explotado el gen para el espesor del cuesco de forma comercial con cruces *dura* x *pisifera* (DxP) y esto aumento la producción de aceite en 30%, con el cambio de materiales tipo *dura* a materiales tipo DxP (Tenéra), es probable que la herencia del grosor del cuesco y el vigor híbrido de cruces intrapoblacionales esté determinada por la dominancia y los efectos epistáticos (Corley & Tinker, 2015; Bernal, 2001; Din et al. 2000, Rajanaidu,1997).

Figura 1-1: Tipos de fruto de la palma *E. guineensis* A. *dura*. B. *Pisifera*. C. *tenera*.



Fotos L Moreno, 2018, 2020

La mejora genética de la palma de aceite está enfocada en satisfacer las demandas de los consumidores de semillas (cultivadores), la producción de aceite es de interés principal en el cultivo (John Martin et al. 2022). Otras características secundarias para el mejoramiento de la palma de aceite son la resistencia o tolerancia a enfermedades letales, al estrés hídrico, la baja tasa de crecimiento en altura, eficiencia en la captación de nutrientes (Raíces más profundas – mayor área foliar se traduce en mayor fotosíntesis) y calidad de aceite (Con mayores contenidos de oleina, Carotenos, Vitamina E) (Rival, 2017; Corley & Tinker, 2015, Wong & Bernardo, 2008).

Los programas de mejoramiento tradicional de *E. guineensis*, tienen como esquema de reproducción el sistema de selección recurrente (SSR) o su modificación selección recurrente modificada (SSRm). El SSR es una estrategia de selección basada sobre la explotación de las complementariedades entre dos grupos de poblaciones (*Dura* y *pisifera*), busca aumentar la frecuencia de genes de interés en una población de plantas y seleccionarlas de forma paralela. La SSRm es un esquema de selección individual y familiar porque la selección de los padres a menudo se realiza a nivel familiar e individual. La hibridación interespecífica entre palmas *E. guineensis* y *E. oleifera* ha sido una alternativa para el manejo de inconvenientes fitosanitarios; el emparejamiento de cromosomas es normal, pero con segmentos terminales no pareados ocasionales, en forma de anillo y cromosomas rezagados (Rajanaidu, 2016; Corley & Tinker, 2015; Rajanaidu, 2013; Schwendiman et al. 1982). Otro método, es el de retrocruzamiento que parece ser el más adecuado para transferir rasgos específicos de *E. oleifera* a la palma comercial, *E. guineensis*. En este esquema, los híbridos OxG seleccionados se retrocruzan repetidamente con el progenitor *E. guineensis*, esta es una alternativa a futuro para afrontar los inconvenientes fitosanitarios (Corley & Tinker, 2015).

Las correlaciones genéticas entre caracteres de interés en poblaciones de mejoramiento permiten inferir cómo será alterada la herencia en una población de un cierto carácter, y así predecir cuál es el resultado; cuando la correlación genética entre dos características es alta, la posibilidad de selección indirecta puede ser evaluada, sin embargo, es necesario considerar costos, logística, infraestructura y tiempo necesario para evaluar las características (Ngando-Ebongue et al. 2011). En palma tipo Tenera (*Dura x Pisifera*), se encontró correlación genética positiva entre la productividad del aceite y las características

del peso del racimo ($r^2 = 0,56$), el contenido de aceite a racimo ($r^2 = 0,46$), la proporción de frutos del racimo ($r^2 = 0,34$) y proporción de mesocarpio en fruto ($r^2 = 0,32$), indicando que estas características definen las genéticas en productividad a través de la selección indirecta (Krualee et al. 2013).

1.3 Palma americana de aceite

La palma americana de aceite (*Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés) es originaria de América y sus poblaciones se encuentran en forma silvestre, se distribuye en Sur y Centroamérica (Colombia, Ecuador, Perú, Brasil, México, Costa Rica y Panamá) (Katialisa et al.; 2021; Ithnin et al., 2021; Astorkia et al., 2020; Billotte et al., 2016; Meléndez & Ponce, 2016; Arias et al. 2015; Bastidas et al., 2013; Forero, et al., 2012; Barba, 2010; Galeano & Bernal, 2010; Barcelos et al., 2002). Estas poblaciones se encuentran en áreas húmedas en las riberas de los ríos y conforman grupos de individuos (Montoya, et al., 2017). Los restos arqueológicos de esta especie provienen de Panamá y el norte de Colombia, en la zona de la amazonia no se han hallado restos fósiles (Morcote-Rios & Bernal, 2001). Con relación al carácter grosor del cuesco, la palma americana es considerado su comportamiento como una palma africana tipo Dura (Montoya et al. 2014; Vallejo, & Cassalett, 1975). El espesor del cuesco varía en un rango de 1,1 a 2,7 mm. y para el caso de los híbridos interespecíficos OxG *pisifera* el grosor varía entre 1,2 a 1,9 mm y entre 1,8 a 2,6 mm para los híbridos OxG *dura* (Vallejo, & Cassalett, 1975).

En Colombia esta especie se encuentra en peligro de extinción en las regiones Caribe y Andina, por pérdida de su hábitat. Sus poblaciones se han reducido en más del 50 % en los últimos 60 años (Montoya, et al., 2017; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015; Galeano & Bernal, 2010). Aunque *E. oleifera* no es importante económicamente, es de importancia estratégica mundial para los programas de mejoramiento de la palma de aceite, por poseer rasgos agronómicos deseados para ser incorporados en el genoma de la palma africana (*E. guineensis*). Como el crecimiento lento en altura de su tallo o estípote, la resistencia a enfermedades como la pudrición de cogollo (PC) y el contenido de metabolitos de importancia para la industria de farmacéuticos (carotenos, tocoferoles y

tocotrienoles), baja acidez y contenidos de ácidos grasos insaturados, haciendo que la calidad del aceite de *E. oleifera* sea superior al de *E. guineensis* porque tiene menos ácidos grasos saturados (Ooi et al. 1981). Además de una posible mejora en la adaptación a condiciones adversas como suelos y clima (Babu et al. 2021; España et al., 2018; Barcelos et al., 2015; Rios, et al., 2012; Cunha et al., 2005; Rajanaidu, 1994). Su reducida tasa de crecimiento en altura de su tallo o estípote es un rasgo valioso porque sus híbridos interespecíficos con la palma africana (OxG) son de lento crecimiento, lo que reduce los costos de cosecha sin afectar adversamente los rendimientos y contribuye a incrementar la vida útil de la plantación (> 25 años) (Corley & Tinker, 2015; Hardon & Tan, 1969).

Existen pocas investigaciones sobre la especie *E. oleifera*; algunos estudios de diversidad genética, basados en características fenotípicas de diferentes accesiones de *E. oleifera* conservadas en el banco de germoplasma de Embrapa (Brasil). Se evaluaron muestras de *E. oleifera* colectadas en la región de Coari, Amazonas, y se observaron correlaciones positivas y significativas entre variables morfológicas y el número de frutos por racimo (Rios et al. 2011). Por otra parte, con base en la morfología de los frutos de 18 accesiones de *E. oleifera* de la cuenca del Rio Amazonas, se observó que estos tienden a formar grupos genéticos, de acuerdo con la distribución geográfica (Camillo et al. 2014). Los datos de la diversidad genética de *E. oleifera* en el banco de germoplasma de Embrapa (Brasil) fueron descritos por Rios et al. (2011a), su investigación basada en medidas biométricas (altura del tallo, número de folíolos, largo y ancho de folíolos, largo del pecíolo y longitud del raquis) revelaron en los análisis multivariados de conglomerados y la dispersión gráfica, la existencia de variabilidad dentro de las accesiones y lograron discriminarlas en grupos.

Escobar (1981) observó en colecciones de Costa Rica, diferencias significativas entre accesiones mantenidas en el banco de germoplasma, identificó la variabilidad a través de características vegetativas como longitud del pecíolo, color del fruto y composición del aceite. Barcelos et al. (2002), empleó marcadores RFLP y AFLP para la caracterización de poblaciones colectadas en Centro y Sudamérica. Encontró que la diversidad genética en poblaciones brasileñas (0,157) fue mayor que la observada en poblaciones recolectadas en Perú (0,042), Centroamérica (0,047), Guayana Francesa (0,042) y Surinam (0,035); esto permitía agrupar según origen geográfico a las poblaciones. En otro estudio sobre la

diversidad genética de *E. oleifera* en Brasil con marcadores RAPD, se encontró que las accesiones tienen niveles moderados de diversidad genética (0,675), en comparación con las observadas en *E. guineensis* (0,472), a pesar de las diferencias en el tamaño de la muestra; los grupos de similitud formados se correlacionaron con la dispersión geográfica de la especie a lo largo de la cuenca del Amazonas y no con la distancia geográfica entre poblaciones y que la mayor diversidad genética encontrada fue intrapoblacional (Moretzsohn et al., 2002).

Arias et al (2015) realizaron la evaluación de la diversidad fenotípica y genética de accesiones de *E. oleifera* de la colección de trabajo de Cenipalma de diferentes orígenes de América del Sur (Brasil (Coarí y Manaus); Colombia (Sinú); Ecuador (Taisha) y Perú (Erene, Serra, Cuschillo-Cocha y Kuwait)) y dos híbridos OxG; usando descriptores morfo-agronómicos y 13 marcadores microsatélites SSR. Los análisis de varianza de los componentes de rendimiento y racimo presentaron diferencias significativas entre países y regiones geográficas para número y peso medio de racimo. Además, en las accesiones de Ecuador se observó una mayor relación de mesocarpio a fruto (M/F). Los análisis de marcadores SSR presentaron diversidad genética baja ($HS = 0,389$) dentro de cada origen mientras que la diversidad genética total fue alta ($HT = 0,797$), del conjunto de accesiones de Brasil, Colombia, Ecuador y Perú; permitiendo la identificación de una colección núcleo que conserve el 100% de los alelos y la diversidad generando una colección núcleo.

Ithnin et al. (2017), evaluaron 19 poblaciones de la colección ex situ del MPOB (Malasia) de *E. oleifera* (532 palmas). Estas poblaciones fueron colectadas en Colombia, Panamá, Costa Rica y Honduras. El árbol filogenético mostró dos grupos principales: las poblaciones de Costa Rica, Panamá y Honduras formaron un grupo y las poblaciones de Colombia establecieron otro grupo esto permite inferir que existió un flujo de genes considerable entre las poblaciones dentro de los países. Las estimaciones de diversidad genética indicaron una alta variabilidad genética entre las poblaciones de Costa Rica. Este resultado sugiere que este país puede servir como centro de diversidad de *E. oleifera*. La caracterización morfo-agronómica y genética del germoplasma de *E. oleifera* de origen Perú realizada por Camacho-Villalobos et al. 2021; para identificar los alelos, la estructura de la población y las relaciones genéticas se emplearon 72 individuos y 12 marcadores

microsatélites SSR. Para los caracteres morfoagronómicos se realizó un análisis de conglomerados y se identificaron tres grupos fenotípicos, los grupos 1 y 3 presentaron valores altos relacionados con las tres características de rendimiento (número, peso medio de racimos y producción por palma). Se encontraron 143 alelos, $11,92 \pm 4,72$ alelos por locus y una heterocigosidad esperada (H_e) de $0,69 \pm 0,045$. El análisis estructural separó tres poblaciones, que no se relacionaron con los grupos fenotípicos.

La colección de trabajo de la palma americana o Nolí de la corporación colombiana de investigación agropecuaria fue establecida en 1977 en el Centro de investigación El Mira en Tumaco (Nariño), está constituida por 59 familias, obtenidas entre palmas seleccionadas en el Valle del río Sinú, de las cuales 11 se obtuvieron por autofecundación, 10 de libre polinización y 38 provienen de cruzamientos controlados. De éstas 59 accesiones 21 pertenecen al sistema de bancos de germoplasma de la nación (Moreno & Bastidas, 2017; Bastidas et al., 2013). Bastidas & Hurtado (1992 y 1993), determinaron en la población origen Sinú la característica de prolificidad de racimos. Moreno & Bastidas (2017) utilizaron descriptores morfológicos para caracterizar la colección de trabajo de palma nolí y encontraron que el color de los frutos en estado inmaduro, maduros, el porcentaje de fibras envolventes y de exposición de las inflorescencias son los que discriminan los grupos en el análisis de componentes principales (ACP).

1.4 Mejoramiento genético e Híbridos interespecíficos (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*)

Los programas de hibridación entre las especies *E. oleifera* y *E. guineensis* fueron iniciados por diferentes mejoradores de palma de aceite, con el fin de utilizar los genes de interés de *E. oleifera*. Sin embargo, se han encontrado con dificultades para estimar el valor real del híbrido interespecífico, entre ellas se resalta, el alto número de frutos partenocárpicos que influye en la medición de algunos componentes, la mayoría de las características del

racimo, como la relación fruto a racimo y mesocarpio a racimo; sin embargo, presenta ventajas como el menor crecimiento anual en altura de 15 a 30 cm/año y posee aceite con mayor contenido de oleína, alto contenido de carotenoides, alto contenido de ácidos grasos insaturados (oleico y linoleico), vitaminas y esteroides, además de tener un mayor índice de yodo (entre 58 y 71), que se heredan del parental *E. oleifera*; el índice de yodo, mide la calidad del aceite; se relaciona con el rendimiento de la oleína y el contenido de ácidos grasos insaturados (oleico y linoleico) (Corley & Tinker, 2015; Rey et al. 2007; vallejo 1978; Dumotier, 2004; Meunier, 1991) **Tabla 1-1** Se presenta un comparativo entre las especies *E. oleifera*, *E. guineensis* y los híbridos OxG:

Tabla 1-1: Características del aceite de la palma americana, palma africana e híbridos interespecíficos OxG.

Característica	unidad	<i>E. oleifera</i> verde	<i>E. oleifera</i> rojo	<i>E. guineensis</i>	Híbrido OxG
Crecimiento Tallo ^{1 y 4}	cm/año		5	30-75	15-25
Amarillamiento Letal ³	Mortalidad (%)		0	75	≤1
Ganoderma ³	Mortalidad (%)		ND	10-70	≤3
Contenido de aceite en pulpa seca ^{3 y 4}	%		35-49	67-76	59-68
Contenido de aceite a racimo ^{3 y 4}	%		1,7-4,4	18,3-25,5	3,8-28
Tasa de extracción de aceite ^{3 y 4}	%		≤9	20-24	8,9-28
Índice de Yodo ^{1 y 2}	g/100g	83.2	78.5	32 - 65	58 - 71
Palmítico ^{1 y 2}	%	15.2	15.3	27 -64	27 – 41
Esteárico ^{1 y 2}	%	0.7	0.6	1 – 13	1 – 6
Oleico ^{1 y 2}	%	68.6	70.4	23 -54	43 - 59
Linoleico ^{1 y 2}	%	14.2	11.8	2 -18	8 - 15
Caroteno ^{1 y 2}	ppm	122	391	688	943

Nota: Elaborado por autor. Adaptado de ¹Corley & Tinker, 2015; ²Bastidas et al., 2013, ³Rios et al. 2012; ⁴Chia et al. 2012.

Uno de los parámetros utilizado para evaluar la calidad del aceite crudo de palma (ACP) es el porcentaje de ácidos grasos libres (AGL). La formación de los AGL en el ACP es causada por la acción de la enzima lipasa en el mesocarpio (triacilglicerol acilhidrolasa), la cual genera rancidez y deterioro del aceite en referencia a esto, se encontró que en *E. guineensis*, en el híbrido OxG y *E. oleifera* a temperatura de 5°C la formación de AGL en *E. guineensis* fue de 47%, en híbrido OxG de 29% y en *E. oleifera* fue <1% (Cadena et al. 2013). Algunos investigadores han trabajado en el desarrollo de progenies de retrocruzamiento ((OxG)xG) y han encontrado un rendimiento promisorio entre estos

híbridos. Sin embargo, debido a la segregación genética, las progenies han mostrado una gran variación en las características del racimo y la calidad del aceite, que son ventajosas para una mayor selección (Barba, 2017; Hardon & Tan, 1969).

1.5 Caracterización morfológica de progenies de palma de aceite

La caracterización de los recursos genéticos determina el desempeño de los materiales en una colección y se ha empleado para identificar patrones de variación y diversidad genética y realizar correlación de caracteres agronómicos; además, permite determinar el potencial agronómico de la especie (Okoye, 2008; Ortega et al. 2018). La evaluación de características morfológicas y agronómicas hacen complejo el proceso de estimación del comportamiento de los genotipos, ya que es difícil mejorar directamente la productividad del aceite. Por ello, se tiene en cuenta aquellas características que poseen la menor influencia ambiental, es decir, la mayor heredabilidad genética. Los datos preliminares de la palma de aceite permitieron sus definiciones y son aplicables para *E. guineensis*, *E. oleifera* y sus Híbridos interespecíficos OxG (Moreno & Bastidas, 2017; Corley & Tinker, 2015; Bastidas et al., 2013, Bastidas & Hurtado, 1992, 1993; IBPGR, 1987; Ooi, 1981; Corley 1976; Hardon et al. 1972; Corley et al. 1971). Para estudiar los cambios en la palma de aceite se utilizan caracteres morfo- agronómicos vegetativos y productivos, algunos de estos parámetros son los siguientes:

- i) **Características cuantitativas: Vegetativas** (altura de la planta, diámetro del tallo, número hojas de verdes, longitud de la hoja, del pecíolo y del raquis, número de folíolos, longitud promedio de los folíolos, ancho promedio de los folíolos, área de la hoja, área foliar, Índice de área foliar y peso seco de la hoja; entre otros). **Productivas** (peso del racimo, peso del raquis, porcentaje de frutos normales; partenocárpico, peso promedio de frutos normales, de frutos partenocárpico, porcentaje de pulpa en fruto normal, de almendra en peso de fruto normal, de aceite en el peso de la pulpa de fruto normal, de aceite en el peso de la pulpa de fruto

partenocárpicos, composición del aceite de pulpa, porcentaje de saturación en el aceite) (Corley & Tinker, 2015, Ayala & Gómez, 2000).

- ii) **Características cualitativas:** ciclo de floración, disposición de los folíolos de la hoja, color del peciolo de la hoja, color de los pulvínulos de la hoja, prolificidad de inflorescencias, tipo de flor, color de frutos inmaduros; color de frutos maduros; hábito de crecimiento de la planta (Moreno & Bastidas, 2017; Bastidas et al., 2013; Okwuagwu et al., 2008; Okoye et al., 2008; Bastidas & Hurtado, 1992, 1993; IBPGR, 1987).

En las colecciones de trabajo, es necesario conocer la naturaleza y el grado de variabilidad presente, para poder orientar y definir objetivos según las necesidades e intereses con el material disponible. Los estudios de heredabilidad y componentes de la variación genética, es necesario que se realicen en múltiples ambientes, dado que los caracteres morfo-agronómicos son muy sensibles a los cambios ambientales (Myint et al. 2019, Vallejo, 1980). La identificación de individuos con alto potencial de interés para los programas de mejoramiento, es decir, que posean variabilidad alta para lograr cruces contrastantes y la introducción de caracteres de interés de un germoplasma determinado hacia la base genética presente, por ello, las accesiones morfológicamente distantes se usan en la hibridación para generar la mayor heterosis posible (Barba, 2017; Singh et al., 2008; Rey et al. 2004; Mohammadi & Prasanna, 2003; Ayala et al., 2000).

La producción comercial de semillas de palma de aceite se lleva a cabo con una base genética limitada, a pesar de contar con diferentes recursos genéticos para los programas de mejoramiento (Corley & Tinker, 2015; Sterling & Alvarado, 2002). La diferencia genética y morfológica es apreciable entre *E. guineensis* Jacq. y *E. oleifera* Kunt Cortés; la tolerancia a factores de influencia biótica y abiótica, atendidos por la mejora convencional o por técnicas de introgresión de genes, requiere definir el tipo de material a utilizar para incrementar la base genética del cultivo, las estrategias y métodos de mejora requeridos (Corley & Tinker, 2015; Cubero, 2013; Vallejo & Estrada, 2013; Sterling & Alvarado, 2002). Diferentes autores proponen niveles de clasificación de los cultivos en función de la facilidad de que ocurra un intercambio de genes entre plantas de la misma especie o entre

especies del mismo género o géneros cercanos, por medio de reproducción natural o asistida denominada acervo genético o “genepool” (Vallejo & Estrada, 2013; Rey et al. 2007; Harlan & Wet, 1971):

El acervo genético primario, contiene todas las poblaciones que se cruzan fácilmente, el apareamiento de los cromosomas es normal produciendo híbridos fértiles, de modo que la transferencia de genes es simple y su cruzamiento es normal, como ocurre entre las palmas de la especie *E. guineensis* y *E. oleifera* (Rey et al. 2007); el acervo genético secundario incluye especies biológicas próximas, incluso algunas de géneros distintos, que se pueden cruzar con la especie cultivada. La transferencia de genes es posible, pero existen barreras de incompatibilidad que separan las especies biológicas. El apareamiento cromosómico es incompleto, los híbridos suelen ser parcialmente estériles y el acervo genético terciario incluye especies sexualmente compatibles, donde es fácil realizar cruzamientos, pero los híbridos tienden a ser completamente estériles, la transferencia de genes sólo es posible con la utilización de técnicas como cultivo de tejidos, o las cruzas con miembros del acervo secundario (Vallejo & Estrada, 2013; Rey et al. 2007; Harlan & Wet, 1971). La variación genética de las poblaciones de la palma de aceite se puede cuantificar por medio de la estructura genética de sus poblaciones, utilizando tres factores (1) la diversidad genética del grupo, (2) la variabilidad dentro de las poblaciones, y (3) la correlación o distancia genética entre las poblaciones (Rocha Salavarieta et al. 2007; Rey et al. 2007). En los tres casos los componentes de la diversidad alcanzan a cuantificar el número de alelos, la heterocigosidad y la asociación de alelos entre locus (Rocha Salavarieta et al. 2007; Rey et al. 2007; Dumotier, 2004).

Los métodos de selección de materiales genéticos de palma de aceite para distintos rasgos implican la evaluación durante largos periodos de tiempo (ciclo >15 a 20 años) (Nyoma et al. 2019; Taeprayoon et al. 2015); un ciclo de selección incluye evaluación y selección fenotípica con énfasis en componentes de rendimiento de racimos de fruta fresca y los componentes del racimo, y cruzamiento entre individuos superiores de familias seleccionadas para formar una nueva población (Rival, 2017; Corley & Tinker, 2015, Wong & Bernardo, 2008). Reducir el tiempo de los ciclos de mejoramiento en plantas perennes es un gran desafío. Por lo tanto, las evaluaciones de caracteres vegetativos y productivos

para inferir la selección temprana de genotipos potencialmente superiores y el apoyo de la biotecnología, para la identificación de QTL's y la asociación a estudios del genoma completo (Babu et al. 2021a; Osorio-Guarín et al. 2019; Gomes Júnior et al. 2015), permitirán identificar loci asociados a caracteres de interés, facilitando el desarrollo de marcadores para la selección asistida.

1.6 Componentes de variación genética

Los programas de fitomejoramiento tienen como fin valorar las principales características cuantitativas y cualitativas de los genotipos disponibles para la mejora de los caracteres de interés económico; la selección de genes de interés y su persistencia mediante la utilización de semillas, explotando la varianza genética, inducida o existente, en las colecciones de trabajo o en poblaciones silvestres. El conocimiento de la variación y estructura genética de las poblaciones de trabajo, son esenciales para trazar estrategias prácticas de mejoramiento por selección (Vallejo, & Estrada, 2013; Sañudo. & Betancourt, 2005)

La estimación de los parámetros genéticos y fenotípicos exigen conocimientos de las magnitudes de las variancias genéticas aditivas, ambientales y fenotípicas de la característica evaluada o de su heredabilidad (Sañudo & Betancourt, 2005). El conocimiento de la dimensión de los parámetros genéticos de la población identificada para el proceso de selección permite diseñar estrategias adecuadas a seguir en la mejora de los caracteres; los parámetros genéticos de mayor interés para los programas de mejora son: varianza aditiva, de dominancia y la varianza de interacción entre efectos genéticos y ambientales, adicional a las correlaciones de los caracteres cuantitativos, ambientales y de genotipo con el ambiente (Gardner,1963).

La heredabilidad es un parámetro muy importante para el mejorador, es el grado en que los progenitores transmiten sus características a su progenie, la heredabilidad puede

expresarse de dos formas: 1). la heredabilidad en sentido amplio (H^2) se define como el cociente entre la varianza genotípica total y la varianza fenotípica; manifiesta las contribuciones genéticas a la varianza fenotípica de una población, es decir, del componente genético o valor genotípico (Falconer, 1989). La heredabilidad en sentido estrecho (h^2) es el cociente entre la varianza aditiva y la varianza fenotípica. Asociada a las diferencias entre los padres y lo que se espera se exprese en la progenie (Vallejo, & Estrada, 2013; Vallejo et al 2010; Sañudo. & Betancourt, 2005; Holland et al. 2003; Ceballos, 1998). Mientras que la repetibilidad, es definida como la proporción del total varianza de diferentes mediciones de un carácter que muestra las diferencias entre los individuos, es empleada para medir el desempeño de un individuo o ver como varia su comportamiento en el tiempo (Falconer, 1989).

Los caracteres cuantitativos registrados por los mejoradores de palma de aceite son el rendimiento asociado a número de racimos, peso medio del racimo, composición de aceite a racimo, altura y área foliar; los cuales son caracteres poligénicos (Corley & Tinker, 2003). En trabajos con progenies de Dura Nigeria x Dura Deli se encontraron diferencia para los caracteres vegetativos (número de hojas, sección transversal del peciolo, longitud del raquis, longitud de foliolos, ancho de foliolos, numero de foliolos, altura de planta, área foliar, índice de área foliar y diámetro del estípite) mostrando alta variabilidad genética para estos caracteres, y las estimaciones de heredabilidad en sentido amplio se encontraban entre 20,69 % para ancho de foliolos y 82,45 % para longitud de foliolos, en los caracteres con estimaciones más bajas de heredabilidad en sentido amplio se presenta influencia del ambiente en la expresión de esos rasgos(Noh et al. 2014). La Heredabilidad en sentido amplio para los caracteres vegetativos en progenies Nigeria dura x AVROS pisifera (DxP) fueron altos área de la sección del peciolo (90,6%), el ancho de foliolos (68,07 %), numero de foliolos (62,52 %) y longitud del raquis (59,06 %), la altura de la palma 36.13% (Marhalil et al. 2013). Las características de selección están sujetas a la varianza ambiental y su respuesta está correlacionada con otros factores, por ejemplo, el número y peso de los racimos están correlacionados con la materia seca. Por tal razón, se seleccionan en forma independiente las características dependiendo el peso de la variable determinante (Ayala & Gómez, 2000).

1.7 Diseño I de Carolina del Norte

Los diseños de apareamiento son procedimientos de cruzamiento entre individuos de una población, con el objeto de estudiar los efectos y las varianzas genéticas que se presentan en las progenies (Chaves, 2021; Awata et al. 2018; Acquaah, 2012, Hallauer et al. 2010). El diseño de apareamiento Carolina Norte I (CNI) es un diseño anidado o jerárquico, empleado en pruebas de pro genie; este diseño se basa en las frecuencias genéticas y genotípicas de las poblaciones vegetales y además permite analizar los caracteres cuantitativos de las plantas a través de la estimación de parámetros genéticos (medias, varianzas genéticas, ambientales y fenotípicas, covarianzas, heredabilidades, entre otros), para hacer predicciones de la respuesta de selección (Acquaah, 2012).

Esta clase de diseños fueron elaborados por Comstock y Robinson (1948, 1952) para estimar la varianza genética de una población de referencia que se supone que es una población de apareamiento aleatoria y está en equilibrio de ligamiento. Bajo este esquema, la población de estudio se divide en dos grupos machos (m) y hembras (f). Cada macho se cruza con un conjunto diferente de hembras para producir progenies, con restricción que cada hembra sólo participa en una sola cruce. El modelo CNI es de efectos aleatorios; bajo la premisa de apareamiento al azar de n machos (m) con n hembras (h). El grupo de progenies de medios hermanos descendientes del mismo macho, se denomina grupo macho (Fasahat et al. 2016; Acquaah, 2012; Stuber, 1980). La estructura genética de las progenies incluirá hermanos completos que tienen a ambos progenitores en común y medios hermanos que tienen un progenitor en común. Como resultado, los cuadrados medios esperados se expresan como covarianza de parientes (Awata et al. 2018).

Bibliografía

- Acquaah, G. (2012). Principles of Plant Genetics and Breeding: Second Edition. In Principles of Plant Genetics and Breeding: Second Edition. doi: 10.1002/9781118313718.
- Alvarado, A., Escobar, R., & Henry, J. (2013). El híbrido OxG Amazon: una alternativa para regiones afectadas por Pudrición del cogollo en palma de aceite. *Revista Palmas*, 34, 305-314.
- Arias, D.; González, M.; Prada, F.; Ayala-Díaz, L.; Montoya, C.; Daza, E.; Romero, H.M. (2015). Genetic and phenotypic diversity of natural American oil palm (*Elaeis oleifera* (H.B.K.) Cortes) accessions. *Tree Genetics Genomes*, 11: 122
- Astorkia, M., Hernández, M.; Bocs, S.; Ponce, K.; Leon, O.; Morales, S.; Quezada, N.; Orellana, F.; Wendra, F.; Sembiring, Z.; Asmono, D.; Ritter, E. (2020). Analysis of the allelic variation in the Shell gene homolog of *E. oleifera* and design of species specific Shell primers. *Euphytica* 216, 5 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2538-7>
- Awata, L. A., Tongoona, P., Danquah, E., Efié, B. E., & Marchelodragga, P. W. (2018). Common mating designs in agricultural research and their reliability in estimation of genetic parameters. *IOSR J. Agric. Vet. Sci*, 11(7), 16-36.
- Ayala, L., Gómez, P. L., & Duran, C. (2000). Selección de progenitores Dura (*Elaeis guineensis* Jacq.) adaptados a las condiciones del Magdalena medio colombiano. *Revista Palmas*, 21(especial), 25-34.
- Ayala, I. M., & Gómez, P. L. (2000). Identificación de variables morfológicas y fisiológicas asociadas con el rendimiento en materiales de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Revista Palmas*, 21(especial), 10-21.

- Babu, B.K., Mathur, R.K., Anitha, P., Ravichandran, G., Bhagya, H. (2021). Phenomics, genomics of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.): way forward for making sustainable and high yielding quality oil palm. *Physiol Mol Biol Plants* 27, 587–604
- Babu K, Mathur RK, Venu MVB, Shil S, Ravichandran G, Anita P and Bhagya HP (2021a) Genome-wide association study (GWAS) of major QTLs for bunch and oil yield related traits in *Elaeis guineensis* L. *Plant Science* 305: 110810.
- Barba, J. (2017). Introgresión de genes *E. guineensis* en híbridos interespecíficos OxG para recuperar la fertilidad del polen y otras características deseables en palma de aceite. *Revista Palmas*, 37, 285-293.
- Barba, J. (2010). Programa de mejoramiento genético en híbridos interespecíficos OxG (*E. oleifera* x *E. guineensis*) a partir de *oleíferas* ecuatorianas en Palmar del Rio – Orellana Ecuador – Banco de Germoplasma PDR. 6p.
- Barcelos, E., Rios, S.D., Da Cunha, R.N.V., Lopes, R., Motoike, S.Y., Babiychuk, E., Skiryicz, A., & Kushnir, S. (2015). Oil palm natural diversity and the potential for yield improvement. *Frontiers in Plant Science* 6: 190. doi: 10.3389/fpls.2015.00190.
- Barcelos, E.; Amblard, P.; Berthaud, J. and Seguin, M., (2002). Genetic diversity and relationship in American and African oil palm as revealed by RFLP and AFLP molecular markers. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 37: 1105-1114.
- Barcelos, E., da Cunha, R. N. V., Nouy, B., & Pacheco, A. R. (2001). Recursos genéticos de caiaué. Embrapa Amazônia Ocidental-Capítulo em livro científico (ALICE).
- Bastidas, P.S., y Hurtado, C.L. (1992). Palmas prolíficas en la especie *Elaeis oleifera*, una mutación afortunada. Santafé de Bogotá, Colombia. *Palmas* 13(3): 55-60.
- Bastidas, P.S.; Hurtado; C.L. (1993). Evaluación de palmas prolíficas en la especie *Elaeis oleifera* e híbridos interespecíficos *E. oleifera* x *E. guineensis*. *Palmas* 14(4):55-60 Santafé de Bogotá, Colombia.

- Bastidas, S, Figueredo, P. y Reyes, R. (1993). Obtención de materiales de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq) adaptados al trópico Latinoamericano. Revista palmas, volumen 14, número especial 1993.
- Bastidas, S., Peña, E., Reyes, R., Pérez, J. y Tolosa, W. (2007). Comportamiento agronómico del cultivar híbrido RC1 de Palma de aceite (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) x *Elaeis guineensis*. Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria (2007) 8(1), pág. 5-11.
- Bastidas, S; Peña, E; Reyes, R. (2013). Preguntas sobre Palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq., Palma Nolí *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés y los híbridos interespecíficos Nolí x Palma de aceite (*E. oleifera* x *E. guineensis*). Bogotá: CORPOICA. 264 p.
- Bastidas Pérez, S., Reyes Cuesta, R., Tolosa Montaña, W., Montero, Y. D., Gutiérrez Verdugo I., Arenas Rubio, Moreno, L. P., & Arizala, M. J. (2020). Híbrido interespecífico O×G Corpoica Elmira de palma de aceite: una alternativa de producción para zonas afectadas por pudrición del cogollo. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7403800>.
- Beirnaert, A.; Vaderweyen, R. (1941). Contribution a l'etude Genetique et Biometrique des Varietes d'*Elaeis guineensis* Jacq. INEAC, Bruselas (Serie Science no. 27).
- Bernal, F. (2001). El cultivo de la palma de aceite y su beneficio: guía general para el nuevo palmicultor (No. AUD 587) CO-BAC, Bogotá). 186 p.
- Billotte, N; Cuellar, T.; Espeout-Fois, S.; Rivallan, R.; Ilbert, P.; Droc, G.; Bocs, S.; Flori, A.; Verdeil, J.L.; Montoya, C.; Ayala-Diaz, I.M.; Pardo Vargas, A.; Zambrano, J.; Syahputra, I.; Omoro, A.; Escobar, G.A.; Nouy, B.; Amblard, P.; Romero, M.; Ritter, E.; Lanaud, C. (2016). Biotecnología y selección de la palma de aceite: la Palma Dorada del futuro. Palmas 37(Especial Tomo I), pp. 159-174.
- Camacho-Villalobos, A., Serna, F., Flores, J., Flores, H., Manrique, P., & Bendezu, J. (2021). Morphological and molecular characterization of an *Elaeis oleifera* (HBK) Cortes germplasm collection located in Ucayali, Peru. Plos one, 16(5), e0250445.

- Cadena, T., Prada, F., Perea, A.; Romero, H. (2012). Lipase activity, mesocarp oil content, and iodine value in oil palm fruits of *Elaeis guineensis*, *Elaeis oleifera*, and the interspecific hybrid OxG (*E. oleifera* x *E. guineensis*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 93, n. 3, p. 674-80, <https://dx.doi.org/10.1002/jsfa.5940>.
- Camillo, J.; Braga, V.C.; Mattos, J.K.A.; Lopes, R.; Cunha, R.N.V.; Padilha, J.; Scherwinski-Pereira, J.E. (2014). Seed biometric parameters in oil palm accessions from a Brazilian germplasm bank. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.49, n.8, p.604-612, <http://www.scielo.br/pdf/pab/v49n8/0100-204X-pab-49-08-00604.pdf>
- Ceballos, H. (1998). *Genética Cuantitativa*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. p. 1-6.
- Chaves, L. J. (2021). Triple full-sibs: A method for estimating components of genetic variance and progeny selection in plants. *Crop Science*, 61(5), 3331–3339. doi: 10.1002/csc2.20518.
- Chaves, S. F. D. S., Alves, R. M., & Dias, L. A. D. S. (2021). Contribution of breeding to agriculture in the Brazilian Amazon. I. Açaí palm and oil palm. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 21.
- Chia, G. S. (2012). Caracterização morfofisiológica e anatômica de folhas de dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.), de caiaué (*E. oleifera* (Kunth) Cortés) e híbrido interespecífico (*E. guineensis* x *E. oleifera*) nas condições da Amazônia Central. Universidade Federal do Amazonas. Manaus Amazonas – Brasil.
- Comstock, R. E., & Robinson, H. F. (1948). The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics*, 4, 254–266. <https://doi.org/10.2307/3001412>
- Comstock R. E. and H. F. Robinson. (1952). Estimation of average dominance of genes. In *heterosis*, Iowa State College press. Usa. pp. 494-516.
- Corley, R. H. V; Hardon, J.J.; Tan, G,Y. (1971). Analysis of growth of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). 1. Estimation of growth parameters and application in breeding”. *Euphytica*, 20, 307-315.

- Corley, R. H. V. (1976). The genus *Elaeis*. In: Oil Palm Research, J. J. H. R. H. V.; Corley, B. J. (Ed.). Amsterdam: Wood. Elsevier Scientific Publishing Company. p. 532.
- Corley, R. H. V., y Tinker, P. B. (2015). The oil palm (Fifth edi., p. 674). Oxford: Blackwell Science Ltd. ISBN: 978-1-405-18939-2
- Corley, R., & Tinker, P. (2003). *The oil palm* (Fourth edi). Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Cubero Salmerón, J. I. (2013). Introducción a la mejora genética vegetal. Mundi-Prensa Libros. 569p
- Cunha, R. N. V. da, Lopes, R., Barcelos, E., Rodrigues, M., Teixeira, P. C., & da Rocha, R. N. C. (2005). Produção de híbridos interespecíficos entre o caiaué (*Elaeis oleifera* Kunt, Cortez) e o dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.). In Embrapa Amazônia Ocidental-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: congresso brasileiro de plantas oleaginosas, óleos, gorduras e biodiesel, 2., 2005, Varginha. Biodiesel: combustível ecológico. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005.
- Cunha, R. D., y Lopes, R. (2010). BRS Manicoré: híbrido interespecífico entre o caiaué e o dendezeiro africano recomendado para áreas de incidência de amarelecimento-fatal. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental.
- Din, A. K., Rajanaidu, N., Jalani, B. S., Rafii, Y. M., & Din, A. M. (2000). Materiales de siembra de palma de aceite del PORIM. Revista Palmas, 21(3), 51-63.
- Dumotier, F. (2004). Mejoramiento de progenies de altos rendimientos en Dami OPRS. Revista Palmas, 25(especial,), 276-292.
- Escobar R. (1981). Preliminary results of the collection and evaluation of the American oil palm (*Elaeis oleifera*) in Costa Rica. Proc. Int. Conf. on Oil Palm in Agric. in the eighties. Kuala Lumpur, 17-20 June, 1981. The Incorporated Society of Planters, pp 79-97.
- España, M. D., Mendonça, S., Carmona, P. A. O., Guimarães, M. B., da Cunha, R. N. V., & Souza, Jr., M. T. (2018). Chemical characterization of the American oil palm from

- the Brazilian Amazon Forest. *Crop Science*, 58, 1982–1990.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2018.04.0231>
- Fairhurst, T. (2016). Identificación y eliminación de las brechas de productividad en el cultivo de la palma de aceite. *Revista Palmas*, 37, 41-52.
- Falconer, D. S. (1989). *Introduction to Quantitative Genetics*. Longmans, London. 383 p.
- Fasahat, P., Rajabi, A., Rad, J. M., & Derera, J. (2016). Principles and utilization of combining ability in plant breeding. *Biometrics & Biostatistics International Journal*, 4(1), 1-24.
- Fedepalma. (2021). *Anuario Estadístico 2021 Principales cifras de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo 2016-2020*. 244 p
- Fedepalma. (2021a). *Balance 2020 y perspectivas 2021 de la agroindustria de la palma de aceite*.
http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/03032021_Balance_y_perspectivas_de_la_agroindustria_de_la_palma_de_aceite_2020-2021_CMG_ASM.pdf
- Forero, D., Hormaza, P., Moreno, L. & Ruiz, R. (2012). *Generalidades sobre la morfología y fenología de la palma de aceite*. Bogotá D. C. Colombia: Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma. 150 p.
- Galeano, G. & R. Bernal. (2010). *Palmas de Colombia. Guía de Campo*. Editorial Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 688 pp.
- Gardner, C. O. (1963). Estimates of genetic parameters in cross-fertilizing plants and their implications in plant breeding. In: *Statistical Genetics and Plant Breeding*. National Academic Science-National Research Council. Pub. 982. Washington, D. C. pp. 225-252.
- Gomes Júnior RA, Lopes R, Cunha RNV, Pina AJA, Silva MP and Resende MDV (2015) Características vegetativas na fase juvenil de híbridos interespecíficos de caiaué

- com dendezeiro. Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 58: 27-35.
- Hallauer AR, Carena MJ, Miranda Filho J. (2010). Quantitative genetics in maize breeding. Springer, Berlin.
- Hardon, J. J., Rao, V., & Rajanaidu, N. (1985). A review of oil-palm breeding. Progress in plant breeding 1, 139-163.
- Hardon, J. J.; Corley, R. H. V.; Ooi, S. C. (1972). Analysis of growth in oil palm. II. Estimates of genetic variances of Growth parameters and yield of fruit bunches. Euphytica, V. 21, p. 257.
- Hardon, J. J., & Tan, G. Y. (1969). Interspecific hybrids in the genus *Elaeis*. I. Crossability, cytogenetics and fertility of F1 hybrids of *E. guineensis* X *E. oleifera*. Euphytica, 18, pág. 372-379.
- Harlan, J.R. and de Wet, J.M.J. (1971). Toward a rational classification of cultivated plants. Taxon 20: 509-517.
- Holland, J. B., Nyquist, W. E., & Cervantes-Martínez, C. T. (2003). Estimating and interpreting heritability for plant breeding: an update. Plant breeding reviews, 22, 9-112.
- IBPGR. (1987). Descriptor list for oil palm inter board for plant genetics Res. Rome Italy 15p.
- Ithnin, M., Vu, WT., Shin, MG., Suryawanshi, V., Sherbina, K., Zolkafli, S H., Serdari, NM., Amiruddin, MD., Abdullah, N., Mustaffa, S., Marjuni, M., Nookiah, R., Kushairi, A., Marjoram, P., Nuzhdin, SV., Chang, PL., Singh, R., (2021). Genomic diversity and genome-wide association analysis related to yield and fatty acid composition of wild American oil palm. PlantSci, 304:110731. doi: 10.1016/j.plantsci.2020.110731.
- John Martin, J.J.; Yarra, R.; Wei, L.; Cao, H. (2022). Oil Palm Breeding in the Modern Era: Challenges and Opportunities. Plants, 11, 1395. <https://doi.org/10.3390/plants11111395>.

- Katialis, K.; Maizura, I.; Ngoot-Chin, T.; Zulkifli, Y.; Sanusi, N. S. N.M.; Sritharan, K.; Singh, R. (2021). Anchoring a genetic map of an interspecific backcross two family to the genome builds of *Elaeis*. *Journal of Genetics* (2021) 100:7 Indian Academy of Sciences <https://doi.org/10.1007/s12041-020-01240-8>.
- Krualee, S., Sdoodee, S., Eksomtramage, T., & Sereprasert, V. (2013). Correlation and path analysis of palm oil yield components in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Agriculture and Natural Resources*, 47(4), 528-533.
- Lopes, R., da Cunha, R. N. V., y de Resende, M. D. V. (2012). Produção de cachos e parâmetros genéticos de híbridos de caiaué com dendezeiro. *Pesquisa agropecuaria brasileira*, 47(10), 1496-1503.
- Madon, M., Clyde, M. M., y Cheah, S. C. (1998). Cytological analysis of *Elaeis guineensis* and *Elaeis oleifera* chromosomes. *Journal of Oil Palm Research*, 10(1), 68-91.
- Madon, M., Clyde, M. M., Cheah, S. C., y Heslop-Harrison, J. S. (2001). Physical Mapping of rRNA Genes on *Elaeis* Chromosome. *Journal of Oil Palm Research*, 13, 56-63.
- Maldonado, N. (2019). Cultivares híbridos OxG y la reactivación productiva de zonas con problemas de PC. *Boletín El Palmicultor*, (573 noviembre), 26-28.
- Marhalil, M., Rafii, M. Y., Afizi, M. M. A., Arolu, I. W., Noh, A., Mohd Din, A., Kushairi A., Norziha A., Rajanaidu N., Latif M. A. & Malek, M. A. (2013). Genetic variability in yield and vegetative traits in elite germplasm of MPOB-Nigerian dura x AVROS pisifera progenies. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11, 515-519.
- Martínez, G., Corredor, A., & Silva, Á. (2008). Problemática de la Pudrición del cogollo en Tumaco e instrumentos para su manejo y la renovación del cultivo. *Revista Palmas*, 29(3), 11-16.
- Martínez, G., Arias, N. A., Sarria, G. A., Torres, G. A., Varón, F., Noreña, C., Salcedo, S., Aya, H., Ariza, J. G., Aldana de la Torre, R. C., Martínez, L. C., Moya, Óscar, & Burgos, C. A. (2009). Cartilla técnica No. 1: Manejo integrado de la Pudrición del cogollo (PC) de la Palma de aceite. *Boletines técnicos*, 24. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/boletines/article/view/10498>

- Martínez, G., Sanz, J. I., Torres, G., Sarria, G., Vélez, D., Zúñiga, F., Mestizo, Y. & Varón, F. (2018). Achieving Sustainable Cultivation of Oil Palm. En The Integrated Management of Bud Rot Disease and *Phytophthora Palmivora*. Vol 2. Editor: Rival A. Ed. Burleigh Dodds Science Publishing
- Meléndez M. & Ponce W. (2016). Pollination in the oil palms *Elaeis guineensis*, *E. oleifera* and their hybrids (OxG), in tropical America. Pesquisa Agropecuária Tropical. Goiânia. Vol. 46(1)., pp. 102- 110. 6.
- Meunier J., (1991). Una posible solución genética para el control de la pudrición de cogollo en la Palma de aceite. Híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*. En: Palmas, 12, (2), pág. 39-42.
- Mesa, J. (2013a). Palabras de Jens Mesa Dishington, presidente ejecutivo de Fedepalma, sobre el lanzamiento del libro Relatos sobre el híbrido interespecífico OxG-Coari x La Mé: esperanza para el trópico. Revista Palmas, 34(3), 152-155. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10878>
- Mesa, J. (2013b). Palma de aceite: fuente de oportunidades, progreso y desarrollo. Revista Palmas, 34, 9-28. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10662>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS. (2015). Plan de conservación, manejo y uso sostenible de las palmas de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Universidad Nacional de Colombia de Colombia. - Grupo de Investigación en Palmas Silvestres Neotropicales. Minambiente. Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. Bogotá D.C. 134 p
- Myint, K. A., Amiruddin, M. D., Rafii, M. Y., Abd Samad, M. Y., Ramlee, S. I., Yaakub, Z., & Oladosu, Y. (2019). Genetic diversity and selection criteria of MPOB-Senegal oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) germplasm by quantitative traits. Industrial Crops and Products, 139, 111558.
- 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., Daza, E., Rincón, V., Ayala, I., Romero, H.M. (2017). Biogeography and Landscape of *Elaeis oleifera* (HBK) Cortés in Caribbean and Andean Regions of Colombia, for ex situ Conservation and Sustainable Use of Genetic Resources. PIPOC 2017, Kuala Lumpur 14-17 de noviembre de 2017. Proceedings PIPOC 2017: Agriculture, Biotechnology & Sustainability Conference, MPOB Vol 2:209-212.
- Montoya C, Cochard B, Flori A, Cros D, Lopes R, Cuellar T, et al. (2014) Genetic Architecture of Palm Oil Fatty Acid Composition in Cultivated Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Compared to Its Wild Relative *E. oleifera* (H.B.K) Cortés. PLoS ONE 9(5): e95412. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095412>
- Morales, I., L, C., Neira, A, L., & Becerra, J, F. (2017). Aplicación de mejores prácticas fitosanitarias en el cultivo de palma de aceite. Programa sectorial de manejo fitosanitario, Unidad de Extensión. 68 p.
- Morcote-Rios, G., & Bernal, R. (2001). Remains of palms (Palmae) at archaeological sites in the New World: a review. The botanical review, 67(3), 309-350.
- Moreno, C.L.P. & Bastidas, P.S. (2017). Morphological characterization of the American oil palm collection *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés. Revista Acta Agronómica (Colombia), 66(1):135 – 140.
- Moretzsohn, M.C.; Ferreira, M.A.; Amaral, Z.P.S.; Coelho, P.J.A.; Grattapaglia, D.; Ferreira, M.E. (2002). Genetic diversity of Brazilian oil palm (*Elaeis oleifera* H.B.K.) germplasm collected in the Amazon Forest. *Euphytica* 124: 35 – 45.
- Moura, J. I. L., dos Santos, L. P., Bittencourt, M. A. L., y Krug, C. (2013). Preferência do bicudo-das-palmeiras por dendezeiro, caiaué e por seu híbrido interespecífico. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 48(4), 454-456.
- Ngando-Ebongue, G. F., Ajambang, W. N., Koon, P., Firman, B. L., & Arondel, V. (2011). Oil Palm. Technological Innovations in Major World Oil Crops, Volume 1, 165–200. doi:10.1007/978-1-4614-0356-2_7.

- Nyouma, A., Bell, J. M., Jacob, F., & Cros, D. (2019). From mass selection to genomic selection: one century of breeding for quantitative yield components of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Tree Genetics & Genomes*, 15(5), 1-16.
- Noh, A., Rafii, M., Din, A. M., Kushairi, A., Norziha, A., Rajanaidu, N., Latif M.A. & Malek, M. A. (2014). Variability and performance evaluation of introgressed Nigerian dura x Deli dura oil palm progenies. *Genet Mol Res*, 13(2), 2426-2437.
- Osorio-Guarín JA, Garzón-Martínez GA, Delgadillo-Duran P, Bastidas S, Moreno LP, Enciso-Rodríguez FE, Cornejo OE and Barrero LS (2019) Genome-wide association study (GWAS) for morphological and yield related traits in an oil palm hybrid (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) population. *BMC Plant Biology* 19: 1-11.
- Okoye, M. N., & Okwuagwu, C. O. (2008). Variability of bunch yield among the DxT interpopulation progenies of the NIFOR second cycle oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) breeding programme. *ARPJ Journal of Agricultural and Biological Science*, 3, 38-45.
- Okwuagwu, C. O., Okoye, M. N., Okolo, E. C., Ataga, C. D., & Uguru, M. I. (2008). Genetic variability of fresh fruit bunch yield in Deli/dura x tenera breeding populations of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Nigeria. *Journal of Tropical Agriculture*, 46, 52-57.
- Ooi, S. C., DA Silva, E. B., Müller, A. A., y Nascimento, J. C. (1981). Recursos genéticos de dendê-populações nativas de *Elaeis oleifera* do Brasil se constituem numa fonte promissora. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 16(3), 385-395.
- Ortega Cedillo, D., Barrera, C. F., Ortega Cedillo, J., Orellana Carrera, J., Vilela de Resende, M. D., & Damião Cruz, C. (2018). Estimates of parameters, prediction and selection of an oil palm population in Ecuador. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 71(2), 8477-8487.
- Rajanaidu, N. (1997). B61-Exploitation of Heterosis in Oil Palm to Increase Oil Yield. *The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops*, 314.

- Rajanaidu, N., & Rao, V. R. (2001). 39 Managing Plant Genetic Resources and the Role of Private and Public Sectors: Oil Palm as a Model. *Managing plant genetic diversity*, 425.
- Rajanaidu, N. (2013). A review of oil-palm breeding. *Progress in Plant Breeding—1*, 139.
- Rajanaidu, N., & Ainul, M. M. (2013). Conservation of oil palm and coconut genetic resources. In *Conservation of tropical plant species* (pp. 189-212). Springer, New York, NY.
- Rajanaidu, N. (2016). Una mirada al mejoramiento genético de la palma de aceite en los últimos cincuenta años: una aventura personal. *Palmas 37*(Especial Tomo I), pp. 190-202.
- Rajanaidu, N. (1994). PORIM oil palm genebank: collection, evaluation, utilization and conservation of oil palm genetic resources. Selangor: Palm Oil Research Institute of Malaysia. 19 p.
- Rey, B.L., Gómez, C.P., Ayala, D.I., Delgado, A.W., y Rocha, S.P. (2004). Colecciones genéticas de palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq., y *Elaeis oleifera* (H.B.K.) de Cenipalma: Características de importancia para el sector palmicultor. *Palmas 25* (No. Especial 2): 39–48.
- Rey, L., Gómez, P. L., Ayala, I. M., Rocha, P. J., & Prada, F. (2007). La variabilidad del germoplasma y su relación con el éxito de un programa de mejoramiento en palma de aceite. *Revista Palmas*, 28(especial,), 166-175.
- Rival, A. (2017). Breeding the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) for climate change. *OCL (Oilseeds, Crops, fats & Lipids)*, 24(1), D107.
- Rios, S. D. A., da Cunha, R. N. V., Lopes, R., da Silva, E. B., Teixeira, P. C., de Lima, W. A. A., & Abreu, S. C. (2011). Caracterização fenotípica e diversidade genética em subamostras de caiaué (*Elaeis oleifera*) de origem Coari. In: Congresso Brasileiro De Melhoramento De Plantas, 6., 2011, Búzios. Panorama atual e perspectivas do melhoramento de plantas no Brasil.

- Rios, S. A., Cunha, R. N. V., Lopes, R., Barcelos, E., Teixeira, P. C., Lima, W. A. A. & Abreu, S. C. (2011a). Caracterização fenotípica e diversidade genética em subamostras de Caiuá (*Elaeis oleifera*). Unimontes Científica, 13, 49-56.
- Rios, S. A., da Cunha, R. N. V., Lopes, R., & da Silva, E. B. (2012). Recursos genéticos de palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) e caiué (*Elaeis oleifera* (HBK) Cortés). Manaus, Brazil: Embrapa Amazônia Ocidental.
- Rocha Salavarieta, P. J., Suárez González, S. R., & Rey Bolívar, L. (2007). Uso de microsatélites para la caracterización molecular de palma de aceite tipo dura. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 10(2), 51–63. <https://doi.org/10.31910/rudca.v10.n2.2007.584>.
- Romero, H. M. (2021). Rendición de cuentas: Mejorar el estatus fitosanitario. Revista Palmas, 41(4), 82-85.
- Sañudo, B. y Betancourt, C. (2005) Fundamentos de fitomejoramiento. Pasto Colombia. Primera Edición. Universidad de Nariño. 150 p. ISBN 958-9479-53-7.
- Schwendiman, J., Pallares, P., Amblard, P. (1982). Premiers examens des accidents de fertilité chez l'hybride interspécifique de palmier à huile *Elaeis melanococca* x *E. guineensis*. Oléagineux, 37:331-341.
- Sanz Scovino, J. I. (2012). Tecnologías útiles para lograr plantaciones de alta productividad. Revista Palmas, 33(2), 123-131. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10763>
- Singh, M., Kaur, K., Singh, B. (2008). Cluster Algorithm for Genetic Diversity. World Academy of Science, Engineering and Technology 18, 453-457.
- SIOC. (2021). <https://sioc.minagricultura.gov.co/Palma/Documentos/2021-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>. Accessed: 2021-11-21
- Sispa. (2022). Áreas en desarrollo y en producción. <http://sispa.fedepalma.org/sispaweb/default.aspx?Control=Pages/areas>.

- Sterling, F. y A. Alvarado. (2002). Historical account of ASD's oil palm germplasm collections. ASD Oil Palm Papers. 24, pág. 1-16.
- Stuber, C. W. (1980). Mating designs, field nursery layouts, and breeding records. Hybridization of crop plants, 83-104.
- Taepayoon, P., Tanya, P., Lee, S. H., & Srinives, P. (2015). Genetic background of three commercial oil palm breeding populations in Thailand revealed by SSR markers. Australian Journal of Crop Science, 9(4), 281-288.
- Torres, M., Rey, L., Gelves, F., & Santacruz, L. H. (2004). Evaluación del comportamiento de los híbridos interespecíficos *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*, en la plantación de Guaicaramo SA. Revista Palmas, 25(especial,), 350-357.
- Vallejo, G., & Cassalett, C. (1975). Perspectivas del cultivo de los híbridos interespecíficos de noli (*Elaeis oleifera* (HBK) Cortez) x palma africana de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Colombia. Revista ICA (Colombia) v. 10 (1) p. 19-35.
- Vallejo, R. (1978). Mejoramiento genético de la palma africana. La palma africana de aceite. Manual de Asistencia Técnica, (22), 144p.
- Vallejo, G. (1980). La semilla de palma africana de aceite. Revista Palmas, 1(1), 19-25.
- Vallejo, F., Espitía, M., Estrada, E y Ramírez H. (2010) Genética vegetal. Palmira Colombia. Primera Edición. Universidad nacional de Colombia. 384 p. ISBN 978-958-8095-61-5.
- Vallejo, F. y Estrada, E. (2013) Mejoramiento genético de plantas. Palmira Colombia. Segunda Edición. Universidad nacional de Colombia. 450 p. ISBN 978-958-761-654-5.
- Woittiez, L. S., van Wijk, M. T., Slingerland, M., van Noordwijk, M., & Giller, K. E. (2018). Brechas de rendimiento en el cultivo de palma de aceite: una revisión cuantitativa de factores determinantes (Carlos Arenas, trad.). Palmas, 39(1), 16-68.

Wong, C. K., & Bernardo, R. (2008). Genomewide selection in oil palm: increasing selection gain per unit time and cost with small populations. *Theor. Appl. Genet.* 116, 815–824. Doi: 10.1007/s00122-008-0715-5.

2. Capítulo 1. Caracterización cuantitativa de 24 progenies origen Sinú de palma americana de aceite (*Elaeis oleifera*) en fase de vivero.

Introducción

La palma de aceite es un cultivo perenne; un ciclo de selección bajo un programa de mejoramiento genético convencional se desarrolla en más de 10 años y requiere amplias áreas experimentales por la baja densidad de siembra (143 palmas/ha) lo cual limita el número de progenies y plantas a valorar en cada ciclo (Corley & Tinker, 2015; Bastidas et al. 2005; Mayes et al. 1997). En palma de aceite las características de importancia productiva son de tipo cuantitativo generalmente presentan baja heredabilidad, es necesario entonces conocer su comportamiento en diferentes ambientes (Noh et al., 2014; Okwuagwu et al., 2008; Ndiaye et al. 2007). En especies perennes como la palma de aceite, la evaluación de progenies debe ser eficiente y con más de un propósito, debido a que es costoso plantar y mantener un ciclo de evaluación y no es pertinente ni metodológicamente apropiado que un ensayo se plantee solo para estimar únicamente las heredabilidades (Rajanaidu, 2013).

La mayoría de los programas de mejoramiento en palma de aceite inician su proceso de mejora con selección masal o fenotípica de poblaciones de polinización abierta (Rajanaidu, 2013, Raffi et al. 2002). La selección fenotípica individual es un proceso sencillo, consiste

en elegir los mejores individuos tomando como base características productivas (peso y número de racimos, tamaño y peso de fruto, etc); con individuos de polinización abierta, es posible conocer uno de los padres, por lo que se limita la ganancia genética y esta se hace lenta, a menos que la heredabilidad del carácter sea muy alta; la selección basada en pruebas de progenie es más eficiente debido a la valoración no solo de los individuos a seleccionar sino también de su descendencia; estas permiten estimar parámetros poblacionales, como la heredabilidad y las varianzas genéticas aditivas y no aditivas. (De Almeida Rios et al. 2018; Corley & Tinker, 2015; Raffi et al. 2002). El rendimiento en palma de aceite depende de diferentes factores como: el material de siembra, manejo agronómico, la actividad fotosintética y las condiciones climáticas de la zona (Gogoue et al. 2019; Okoye et al. 2008; Rafii et al. 2001). La influencia ambiental sobre los caracteres cuantitativos en las poblaciones de palma es altamente significativa e influye directamente sobre los componentes de la producción, sin embargo, sobre las características cualitativas no se observa el mismo comportamiento. Algunas características vegetativas, como la relación del área foliar se considera que no son afectadas, porque el área foliar y el peso de la hoja se reducen o se incrementan en igual proporción (Lee et al. 2011; Luyindula et al. 2005; Rafii et al. 2001; Constantin et al. 2001). Breure (1986) demostró que la proporción de área foliar fue un criterio de selección útil, y su importancia relativa debido a la sensibilidad de esta característica a la endogamia, por lo cual puede ser un criterio para seleccionar dentro de familias consanguíneas. Adicionalmente existe una correlación significativa entre el peso medio del racimo y el número de folíolos, estas palmas con mayor número de folíolos conservan esta característica en años posteriores y muestran un peso promedio del racimo significativamente mayor (Sparnaaij, 1969).

El empleo de caracteres cuantitativos del crecimiento permite generar caracteres indicativos que facilitan la selección de plantas en fase de vivero, siendo de interés los parámetros fisiológicos y de crecimiento con heredabilidad de media a alta y que se modifican mediante la selección de forma eficiente (Hallauer et al. 2010; Falconer, 1986; Mariotti, 1986). El vivero es la fase inicial del cultivo por ello que su manejo agronómico debe ser adecuado, para asegurar la producción de plantas en óptimas condiciones para el establecimiento en campo; plantas con adecuado desarrollo, uniformidad y sanidad. Existe correlación directa entre el desarrollo de las palmas en el vivero, con el desarrollo (precocidad) y productividad en campo, principalmente durante los primeros años (Corley

& Tinker, 2003; Coto et al. 2002; Segura et al. 2001; Chinchilla et al. 1998). El comportamiento en vivero se considera un indicativo del desempeño futuro de un genotipo en campo (Ibrahim et al 2010); por lo tanto, la selección temprana en fase de vivero de plantas mediante indicadores morfológicos-vegetativos o biométricos de crecimiento que estén relacionados con características altamente productivas en palmas en etapa productiva, representaría un salto importante en los programas de mejoramiento de especies perennes como la palma de aceite (Mayes et al. 1997).

El uso de las pruebas de progenies para elegir palmas con altos rendimientos; permite conocer la variabilidad genética en las colecciones de trabajo y la estimación de parámetros genéticos (componentes de varianza y heredabilidad de caracteres) son necesarios para mejorar las estrategias de selección, de tal forma que permitan la discriminación eficiente de genotipos superiores (Ayala et al. 2000; Rajanaidu, 2000; Bastidas & Martínez, 1995; Sterling, 1993). La varianza genética aditiva es importante en las propiedades genéticas de una población y su respuesta al proceso de selección; la obtención de los componentes de varianza genética mediante el uso de los diseños biparentales como el Carolina del Norte I (Comstock y Robinson, 1948, 1952; Falconer, 1986).

Los programas de mejoramiento genético siguen algunos pasos comunes: elegir los parentales que darán origen a la población de base; realizar la selección de progenies superiores de esa población; evaluar en diferentes ambientes para conocer su comportamiento productivo; el rendimiento de aceite es una de las principales características de evaluación, sin embargo, algunos caracteres vegetativos, también son útiles como criterios de evaluación y selección, por ejemplo, el incremento de la altura (tasa de crecimiento) ya que reducir la altura es de interés para los mejoradores dado que los costos de cosecha aumentan con la altura de la planta (Tupaz-Vera et al.2021; Ngando-Ebongue et al. 2011). Este capítulo tiene como objetivo caracterizar cuantitativamente 24 progenies recombinantes de la palma americana de aceite *E. oleifera* respecto a parámetros vegetativos de crecimiento en fase de vivero, estimar parámetros genéticos y determinar las características que contribuyen a la diferenciación de las progenies.

2.1 Materiales y métodos

2.1.1 Localización

La fase experimental se realizó en el Centro de Investigación El Mira de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria- Agrosavia, ubicado geográficamente en las coordenadas 78°41'54" N y 1°32'35" W, en Tumaco, Nariño, a una altitud de 16 m.s.n.m.; con valores promedio de 26°C de temperatura, 85% de humedad relativa y 3000 mm/año de precipitación (Reyes et al 2008). La evaluación de las variables de respuesta de las progenies fue realizada durante 2016 en fase de vivero (**Figura 2-1**), se valoraron 24 progenies bajo diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones.

Figura 2-1: *Plantas de palma americana tres meses después de siembra en vivero*



Fotos. L. Moreno, 2016

2.1.2 Material vegetal

Las progenies en evaluación corresponden a 24 cruzamientos entre palma americana de aceite origen Sinú, los cuales hacen parte del Programa de mejoramiento de la Palma de aceite de Agrosavia. La obtención de estas 24 progenies se realizó empleando el diseño I de Carolina del Norte (Comstock y Robinson, 1948, 1952). (**Tabla 2-1**). La evaluación se realizó según diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones de ocho plantas cada unidad experimental.

Tabla 2-1: Genealogía de las 24 progenies *E. oleifera* evaluadas en etapa de vivero.

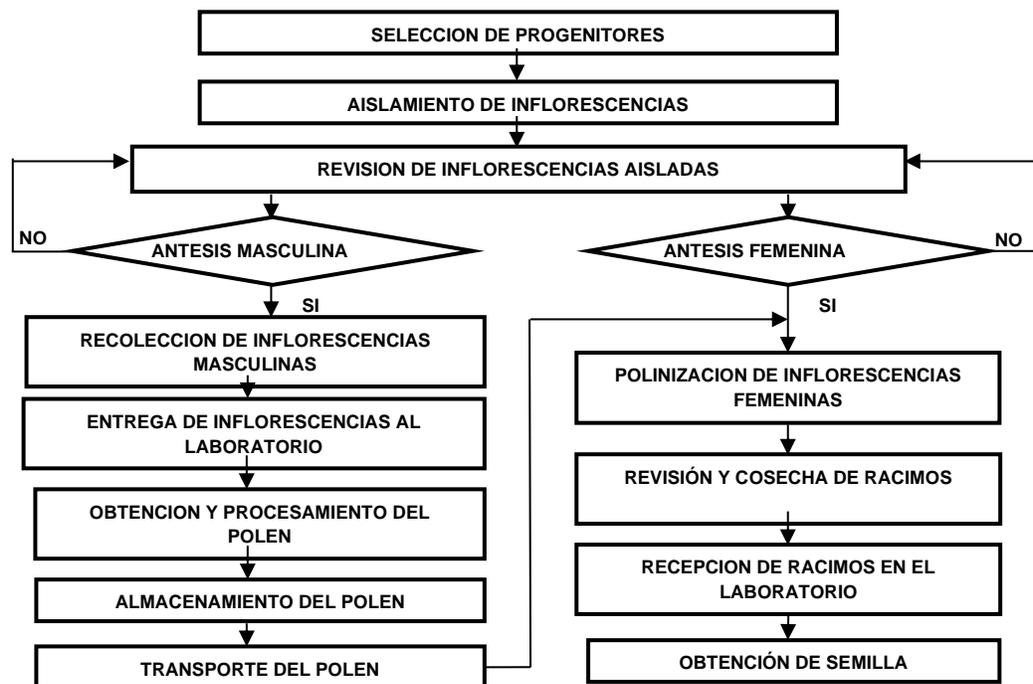
Progenie	Hembra (H)	Macho (M)	Cruza	Progenie	Hembra (H)	Macho (M)	Cruza
1	1	A	1XA	13	13	D	13XD
2	2	A	2XA	14	14	D	14XD
3	3	A	3XA	15	15	D	15XD
4	4	A	4XA	16	16	D	16XD
5	5	B	5XB	17	17	E	17XE
6	6	B	6XB	18	18	E	18XE
7	7	B	7XB	19	19	E	19XE
8	8	B	8XB	20	20	E	20XE
9	9	C	9XC	21	21	F	21XF
10	10	C	10XC	22	22	F	22XF
11	11	C	11XC	23	23	F	23XF
12	12	C	12XC	24	24	F	24XF

Nota: Elaborada por autor

El plan de cruzamientos se realizó con la siguiente secuencia metodológica: 1). Colecta y procesamiento de polen de palmas seleccionadas como progenitores masculinos. 2). Procesamiento y almacenamiento de polen seco en frascos de vidrio. 3). Revisión y seguimiento fenológico de la floración de cada una de las 24 palmas *E. oleifera* seleccionadas como progenitores femeninos, en busca de inflorescencias femeninas en estado de pre-antesis I (estadio 601 escala BBCH) 4). Cuando la planta presentaba inflorescencias femeninas en preantesis I se realizó el aislamiento de la inflorescencia con bolsa de poliéster de alta densidad Marca green Putumayo (Ref: AMAZONAS GP-002: tamaño 85X63cm con una ventana de PVC transparente de 29x17 cm) que impidió la entrada del polen transportado por el viento o por insectos polinizadores, previo al aislamiento se retiraron las inflorescencias masculinas viejas y se realizó el castrado de racimos en formación. 5). Cuando las inflorescencias femeninas iniciaron la antesis (estadio 607 Escala BBCH), se realizó la aplicación de polen según cruzamiento correspondiente y posterior a ello 20 a 25 días después de la polinización, cuando los racimos inician su desarrollo, se retiraron las bolsas de aislamiento. 6). Posteriormente, cuando los racimos presentaron madurez fisiológica se realizó su cosecha. 7). Cada racimo cosechado se almacenó por ocho días luego se procedió a su desgrane y despulpado para obtener semillas **Figura 2-2**. 8). inicia el proceso de germinación de las semillas de acuerdo con el Protocolo interno de Agrosavia para la producción de semilla de híbrido

interespecífico y Figueroa et al. (2011). Inmediatamente después de terminado el proceso de germinación, las semillas germinadas y diferenciadas pasaron a etapa de previvero. El proceso de previvero y vivero fue el siguiente: las semillas germinadas, se sembraron en bolsas de polietileno de 15 cm de ancho por 20 cm de alto, que contenían como sustrato suelo franco arenoso. Se sembró una semilla germinada diferenciada por bolsa. En previvero se mantuvieron las plantas durante tres meses, al cabo de los cuales, las palmas pasaron a fase de vivero por un periodo de 15 a 18 meses. se emplearon bolsas de polietileno de 40 cm de ancho x 40 cm de alto calibre 5, también llenas con sustrato suelo franco arenoso.

Figura 2-2: Flujograma del proceso de producción de semilla de palma de aceite.



Nota: Adaptado de Peña et al. 2013; Setiawati et al. 2018

En el vivero, las plantas se distribuyeron en cuadro a una distancia de un metro entre plantas, siguiendo el diseño experimental correspondiente ya indicado. El manejo agronómico de las palmas en vivero se realizó de acuerdo con el manejo de semilla germinada y viveros de palma de aceite indicadas por Bastidas, et al., 2002. Durante la etapa de vivero se descartaron palmas que presentan alguna característica indeseable o anormal **Tabla 2-2**.

Tabla 2-2: Criterios para la selección de palmas óptimas fase de vivero

Criterios para selección	Criterios para descarte
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Plantas con hojas de forma simétrica y radial. ✓ Plantas con folíolos anchos y largos. ✓ Plantas con diámetro de tallo ancho. ✓ Plantas sanas libres de daños por plagas y enfermedades. ✓ Plantas sin síntomas de deficiencias nutricionales. ✓ Plantas con hojas bajas que presentaban un arco más o menos horizontal y las hojas centrales un ángulo de 45 grados con respecto al eje vertical. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Plantas con crecimiento retrasado. ✓ Plantas con hojas deformes, anormales, arrugadas. ✓ Plantas que presenten hojas de pecíolos y raquis delgados. ✓ Plantas con folíolos delgados o con folíolos separados entre sí. ✓ Plantas con folíolos fusionados. ✓ Plantas variegadas (folíolos con bandas de color blanco o amarillo pálido). ✓ Plantas con problemas fitosanitarios. ✓ Plantas con deficiencias nutricionales.

Nota: adaptado de Bastidas *et al.*, (2013)

2.1.3 Variables Respuesta

2.1.3.1 Caracterización de parentales

Los parentales femeninos y masculinos utilizados para realizar los 24 cruzamientos fueron caracterizados, con base en cuatro descriptores **Tabla 2-3**.

Figura 2-3: inflorescencias de palma americana Sinú. A. tipo Normal, B. tipo prolífico y porcentaje de fibras C. inflorescencia 25% de cobertura; D. inflorescencia 50% de cobertura. E. inflorescencia 75% de cobertura



Fotos. L Moreno, 2017.

Tabla 2-3: Descriptores utilizados para caracterizar progenitores femeninos y masculinos seleccionados de la colección de trabajo de la palma americana de aceite *E. oleifera* origen Sinú de Agrosavia.

Descriptor	Descripción	Características
1. Prolificidad	Normal	Presencia de una sola inflorescencia en cada hoja de la palma. Figura 2-3A
	Prolífico	Presencia de dos o más inflorescencias en la axila de algunas hojas Figura 2-3B
2. Color del fruto inmaduro (Estadio 705 Escala BBCH)	Amarillo (2.5Y7/6*)	Frutos con epidermis de color amarillo Figura 2-4A
	Amarillo mostaza (2.5Y7/10*)	Frutos con epidermis de color amarillo mostaza Figura 2-4B
	Verde (5GY4/6*)	Frutos con epidermis de color verde Figura 2-4C
3. Color del fruto maduro (estadio 807 Escala BBCH)	Amarillo (5Y8/8*)	Frutos con epidermis de color amarillo Figura 2-4D
	Rojo naranja(10R4/10*)	Frutos con epidermis de color rojo naranja Figura 2-4E
	Rojo(10R4/8*)	Frutos con epidermis de color rojo Figura 2-4F
4. Porcentaje de fibras en la inflorescencia (estadio 607-609 escala BBCH)	25%	Las fibras de las espatas florales cubren el 25% de la inflorescencia Figura 2-3E Error! No se encuentra el origen de la referencia.
	50%	Las fibras de las espatas florales cubren el 50% de la inflorescencia Figura 2-3D
	75%	Las fibras de las espatas florales cubren el 75% de la inflorescencia Figura 2-3C

Nota: Elaborada por autor adaptado de Bastidas y Hurtado, 1992, 1993; Bastidas *et al.*, 2013; Moreno & Bastidas, 2017 * Escala Munsell

Figura 2-4: Coloración fruto inmaduro de palma americana Sinú. A. tipo amarillo, B. tipo amarillo mostaza y C. tipo verde. Color fruto Maduro D. Amarillo, E. Naranja y F. Rojo



Fotos. L Moreno, 2016.

2.1.3.2 Variables morfológicas en plantas en fase de vivero

Las variables (**Tabla 2-4**) usadas para evaluar el desarrollo de las 24 progenies en vivero se tomaron sobre la hoja pinnada No. 4 en etapa de vivero en las edades de 10 y 12 meses de siembra en vivero. Estas variables corresponden a los descriptores desarrollados por Corley & Breure (1981); Breure & Verdooren (1995); Reyes et al. (2008, 2013a, 2013b, 2014), Ibarra-Ruales & Reyes-Cuesta, (2015) y Corley & Tinker (2015).

Tabla 2-4: Medidas biométricas utilizadas para caracterizar la colección de trabajo de la palma americana de aceite *E. oleifera* en etapa de vivero.

Característica	Unidad de medida	Descripción
Emisión de hojas	Unidad	Corresponde al número de hojas emitidas por la planta durante un determinado periodo de tiempo. Pasos para su registro: 1) Marcar con pintura el raquis de la hoja 1; es la hoja más cercana a la flecha con más del 50% de folíolos abiertos. 2) Registrar la fecha. 3) Exactamente 2 meses después se vuelve a pintar el raquis la nueva hoja No. 1 y se cuenta el número de hojas emitidas.
Diámetro de la base del Bulbo	cm	Esta medida se toma en la base del bulbo (parte inferior del tallo) y para ello se utiliza un Pie de Rey Mitutoyo
Altura de planta	cm	Se registra la altura desde el nivel del suelo hasta el peciolo de la hoja 4, punto de inserción de los folíolos rudimentarios.
Número de por planta	Unidad	Se cuenta el número total de hojas funcionales de la planta
Numero de folíolos por hoja	Unidad	Se cuenta el número total de folíolos de un lado de la hoja 4.
Largo del folíolo	cm	Se mide el largo total de 4 folíolos centrales de la hoja 4.
Ancho del folíolo	cm	Se mide el ancho de 4 folíolos centrales de la hoja 4 y la medida se toma sobre el dobléz
Ancho de la sección peciolo.	cm	Se registra en la parte donde termina el peciolo de la hoja y empieza el raquis de la hoja 4. Debajo el primer folíolo rudimentario
Alto de la sección peciolo	cm	Se registra en la parte donde termina el peciolo de la hoja y empieza el raquis de la hoja 4. Debajo del primer folíolo rudimentario
Largo del raquis de la hoja	cm	Desde el punto de inserción del último folíolo rudimentario hasta el ápice del raquis (está justo en el centro de los dos folíolos del ápice de la hoja)
Largo del peciolo hoja	cm	Desde el punto de inserción del primer folíolo rudimentario de la hoja 4 hasta la base de la inserción del peciolo con el tallo.
Área Sección Peciolo	cm ²	Se calcula a partir de la ecuación de acuerdo con Corley & Breure (1981): $ASP = \text{Ancho} * \text{Alto de la sección del peciolo}$ <p style="text-align: right;">(2-1)</p>
Peso Seco hoja 4	kg	Se calcula con la ecuación de acuerdo con Corley et al. (1971): $PSH4 = 0,206 + (0,102 * \text{Área sección del peciolo})$ <p style="text-align: right;">(2-2)</p>
Largo Hoja 4	cm	Se calcula a partir de la ecuación de acuerdo con Corley & Breure (1981): $LH4 = \text{Largo del peciolo} + \text{largo del raquis}$ <p style="text-align: right;">(2-3)</p>
Área de hoja 4	m ²	Se calcula a partir de la ecuación de acuerdo con Corley & Breure (1981):

Característica	Unidad de medida	Descripción
		$AH4 = \text{Número foliolos por hoja} \left(\frac{\sum(LxA)}{4 \text{ foliolos}} \right)^{0.57}$ <p style="text-align: right;">(2-4)</p>
Área foliar por palma	m ²	Se calcula a partir de la ecuación de acuerdo con Corley & Breure (1981): $AFP = \text{Área de la hoja} 4 * \text{Número de hojas por palma}$ <p style="text-align: right;">(2-5)</p>
Índice de Área Foliar		Relación o proporción entre el área foliar de todas las palmas de una hectárea con respecto a la superficie de una hectárea de terreno.
Relación de Área Foliar	m ² /kg	Relación entre el área foliar de una palma con la cantidad de materia seca en superficie foliar empleada para su crecimiento.

Nota: Elaborada por autor. Adaptado de: Corley et al. 1971; Corley & Breure (1981); Breure & Verdooren (1995); Reyes et al. (2008, 2013a, 2013b, 2014); Ibarra-Ruales & Reyes-Cuesta, (2015) y Corley & Tinker (2015).

2.1.4 Análisis estadísticos

Se realizó la verificación de normalidad con la prueba de Kolmogorov-Smirnov, procedimiento UNIVARIATE 9.4 SAS, 2013, adicionalmente se obtuvieron los estadísticos descriptivos de las variables. Se realizó análisis de varianza individual para la edad 10 y 12 meses después de siembra en vivero para cada variable, lo que permitió determinar el comportamiento de los machos a través de las hembras y obtener posteriormente la estimación de los parámetros genéticos de acuerdo con el diseño genético Carolina del Norte I. La estimación de los componentes de varianza se obtuvo a través del Proc GLM de SAS (SAS, System 9.4), que se utilizó en cada análisis de varianza mediante el cual se obtuvieron, la varianza de machos, la varianza de hembras dentro de machos, la varianza del error, esto para el caso de los análisis individuales y en el caso del análisis combinado se agregó la varianza de interacción macho por época y de interacción hembra dentro de macho por época.

En el análisis estadístico de la caracterización morfológica se empleó: estadística descriptiva (media, coeficiente de variación, error estándar), se realizó análisis de

correlación lineal para detectar dependencia entre variables, y análisis multivariado por componentes principales - (ACP) (SAS, 2013) Se eligieron los componentes principales con valores superiores a $>1,0$, por que explican la mayor variabilidad en las progenies. El análisis de agrupamiento y construcción del dendograma se realizó mediante el método de UPGMA- media aritmética no ponderada. El análisis de agrupamiento y su correlación fue realizada con la ayuda del software SAS versión 9.4, (SAS, 2013).

2.1.5 Estimación de componentes de la varianza y parámetros genéticos

A partir de los análisis de varianza antes descritos se calcularon las varianzas o parámetros genéticos, la estimación de la varianza aditiva ($\sigma^2 A$) y de dominancia ($\sigma^2 D$), así como la heredabilidad en sentido amplio (H^2). Se realizó utilizando las esperanzas de cuadrados medios (ECMs) del análisis de varianza para cada una de las variables. El diseño genético I de cruzamiento biparental de Carolina del Norte de Comstock & Robinson (1948), se ajusta a los modelos lineales (2-6) y ((2-9):

Individual:

$$G_{ijk} = \mu + M_i + H_{(j)i} + R_k + \epsilon_{(ij)k} \quad (2-6)$$

$i = 1,2, \dots m$ (machos)
 $j = 1,2, \dots h$ (hembras)
 $k = 1,2, \dots r$ (repeticiones)

En la ecuación (2-6) G_{ijk} es la expresión fenotípica del cruce del macho i y la hembra j en la repetición k . μ = Media general. M_i = Efecto del macho i ($i: 1,2,3 \dots m$). H_j = Efecto de la hembra j cruzada con el macho i ($ij: 1,2,3 \dots h$). R_k = Efecto de repeticiones. ϵ_{ijk} = Efecto del error experimental.

De acuerdo con el modelo individual en la **Tabla 2-5** se presentan las fuentes de variación del análisis de varianza individual para el Diseño Carolina Norte I.

Tabla 2-5: Análisis de varianza para el Diseño I Carolina del Norte y esperanzas del cuadrado medio.

Fuentes de variación	GL	ECM	CM
Repeticiones (Rep)	r-1	$\sigma^2E + \sigma^2r$	
Machos (M)	m-1	$\sigma^2E + r\sigma^2H/M + rh\sigma^2M$	CM3
Hembras (H)/M	m(h-1)	$\sigma^2 E + r\sigma^2H/M$	CM2
Error	(mh-1) (r-1)	σ^2E	CM1
Total	mhr-1		

Nota: r=repeticiones, m= machos, h=hembras, CM= Cuadrado medio ECM= Esperanzas de cuadrado medio

La estimación de los componentes de varianza del Diseño I se realiza a partir de las esperanzas del cuadrado medio (ECM) para el caso de este diseño genético, se considera que ausencia de epistásis, y se realizan los cálculos a partir de las siguientes ecuaciones la varianza de machos (ecuación (2-7)) Varianza de hembras dentro de machos (Ecuación (2-8)) y varianza ambiental (ecuación (2-9)):

$$\sigma^2m = \frac{CM3 - CM2}{hr} \quad (2-7)$$

$$\sigma^2h(m) = \frac{CM2 - CM1}{r} \quad (2-8)$$

$$\sigma^2e = CM1 \quad (2-9)$$

Estos componentes, asumiendo la no existencia de la epistásis, tienen las siguientes equivalencias la varianza de machos (ecuación (2-10)) Varianza de hembras dentro de machos (ecuación (2-11)) y varianza ambiental (ecuación (2-12)):

$$\sigma^2m = CovMH = \frac{1}{4} \sigma^2A \quad (2-10)$$

$$\sigma^2h(m) = CovHC = \frac{1}{4} \sigma^2A + \frac{1}{4} \sigma^2D \quad (2-11)$$

$$\sigma^2e = CovHC = \frac{1}{4} \sigma^2A + \frac{1}{4} \sigma^2D + \frac{1}{4} \sigma^2e$$

(2-12)

Los componentes de varianza genética se calcularon de la siguiente forma Varianza aditiva (ecuación (2-13)) Varianza de dominancia (ecuación (2-14)):

$$\sigma^2A = 4 \sigma^2m \quad (2-13)$$

$$\sigma^2D = 4(\sigma^2h(m) - \sigma^2m) \quad (2-14)$$

La varianza fenotípica tuvo el equivalente siguiente para la varianza fenotípica (ecuación(2-15)(2-16)):

$$\sigma^2F = \frac{1}{4} \sigma^2A + \frac{1}{4} \sigma^2A + \frac{1}{4} \sigma^2D + \frac{1}{2} \sigma^2A + \frac{3}{4} \sigma^2D + \sigma^2e \quad (2-15)$$

$$= \sigma^2A + \sigma^2D + \sigma^2e \quad (2-16)$$

Heredabilidad en sentido amplio (Ecuación (2-17)) se calculó de la siguiente forma:

$$H^2 = \frac{\sigma^2G}{\sigma^2F} = \frac{(4 \sigma^2m + \sigma^2h(m))}{\sigma^2m + \sigma^2h(m) + \sigma^22e} \quad (2-17)$$

2.2 Resultados y discusión

2.2.1 Caracterización morfológica de parentales

Las características morfológicas de los parentales se presentan en la **Tabla 2-6**. Para el grupo de hembras usadas en el plan de cruzamientos el 16.6 % de las hembras poseen prolificidad, el 37.5% son de color verde (5GY4/6 Escala Munsell), el 29% pose el 25 % de cobertura de fibras en la inflorescencia. Meunier, (1975); clasificó la palma americana de aceite de acuerdo con la coloración de la epidermis del fruto al momento de madurez, en tres tipos: I.) El tipo amarillo antes de la madurez, luego se torna de color bronce, y en madurez los frutos se vuelven anaranjados a rojo anaranjados y denominada como “variedad roja” del Sinú. II.) El tipo amarillo verde a verde muy pálido antes de la madurez, y de color amarillo intenso en madurez denominada “variedad amarilla”. III.) El tipo verde - Naranja en poblaciones de palmas colectadas en el Sinú no se encontró, constituye una característica para identificación fenotípica de las poblaciones de la amazonia. El color del fruto es verde en estado inmaduro, se torna amarillo naranja y finalmente es de color anaranjado a rojo. Los frutos naranjas ocurren con frecuencia en el 98% de las poblaciones naturales. Las inflorescencias andróginas¹ fue una característica indeseable en la selección de los parentales en este trabajo, adicionalmente se seleccionaron palmas que presentaran 25 y 50% de cobertura de fibras en inflorescencia característica deseable para facilitar la polinización natural, asistida o artificial.

Tabla 2-6: Caracterización morfológica de progenitores Sinú seleccionados para diseño carolina Norte I

Progenitor	Prolificidad	Color fruto inmaduro	Color fruto maduro	% Fibras en racimo
H1	Normal	Verde	Rojo naranja	50%
H2	Normal	Verde	Amarillo	25%
H3	Normal	Verde	Rojo naranja	50%
H4	Normal	Amarillo	Rojo	50%
H5	Prolífica	Amarillo	Rojo	25%
H6	Normal	Amarillo	Rojo	25%
H7	Normal	Amarillo	Rojo	50%
H8	Normal	Amarillo	Rojo	50%

¹ Inflorescencia andrógina aquella inflorescencia que sobre el eje de inflorescencia masculina se desarrollan flores femeninas (Sánchez et al. 2011).

Progenitor	Prolificidad	Color fruto inmaduro	Color fruto maduro	% Fibras en racimo
H9	Normal	Verde	Amarillo	25%
H10	Normal	Amarillo	Rojo	50%
H11	Normal	Amarillo	Rojo	50%
H12	Normal	Amarillo	Rojo	50%
H13	Prolífica	Verde	Amarillo	50%
H14	Prolífica	Amarillo	Rojo	25%
H15	Normal	Verde	Rojo naranja	50%
H16	Normal	Amarillo	Rojo	50%
H17	Prolífica	Amarillo	Rojo	50%
H18	Normal	Verde	Rojo naranja	50%
H19	Normal	Amarillo mostaza	Rojo	25%
H20	Normal	Amarillo	Rojo	50%
H21	Normal	Verde	Rojo naranja	50%
H22	Normal	Amarillo	Rojo	25%
H23	Normal	Verde	Rojo naranja	50%
H24	Normal	Amarillo	Rojo	50%
M1	Normal	Amarillo	Rojo	25%
M2	Normal	Amarillo	Rojo	25%
M3	Normal	Amarillo	Rojo	50%
M4	Normal	Amarillo	Rojo	50%
M5	Normal	Verde	Amarillo	25%
M6	Normal	Verde	Amarillo	50%

Nota: elaborado por autor H=progenitor Hembra, M= progenitor Macho

2.2.2 Estadística descriptiva de caracteres morfológicos

Los valores medios de las características morfológicas vegetativas para las veinticuatro progenies a los 10 meses después de establecidas en vivero (ANEXO A). Se presentó una gama de variaciones en las características vegetativas con coeficientes de variación de 3,7 a 51%. La emisión de hojas (EH) más alta se registró para las progenies 14 y 24 con 6,1 y 6,3 hojas/bimensuales equivalente a 3,1 y 3 hojas / mes respectivamente, mientras que la menor producción de hojas se presentó en las progenies 6 y 22 con 2,5 y 3 hojas / bimensuales, equivalente a 1,2 y 1,5 hojas / mes respectivamente. Las progenies con menor diámetro del tallo son 1, 8, 9 y 17 (4; 4,05; 3,88 y 4,07 cm); las progenies con menor área de la sección del pecíolo (ASP) fueron las progenies 1, 8 y 9 (0,29; 0,31 y 0,27 cm²) respectivamente; y con menor longitud del raquis (LR) 1 y 8 (19,2 y 18,6 cm) respectivamente. También se encontró una cantidad considerable de variación en la longitud de los folíolos (LF), para las progenies 1, 8, 19 (22,7; 22,9 y 23,4 cm) respectivamente y la progenie 3 (32,9 cm); así como para el ancho de los folíolos (AF) para

las progenies 1 y 9 (1,2 cm) y 20 (2,3 cm). Las progenies 20 y 3 presentaron los valores altos de AF y LF, mientras que las progenies 1 y 9 fueron pequeños los LF y AF (22,7 y 1,2 respectivamente). El área foliar (AF), un componente derivado de LF, AF y NF presento valores en el rango de 0,112 – 0,918 cm², observándose el menor valor para las progenies 1 y 8 con 0.112 cm² y el mayor en la progenie 20 (0,918 cm²). Debido a que el área de la hoja es una variable calculada a partir de las variables número, largo y del ancho de los folíolos, adicional a que también presentaron bajos coeficientes de variación estas variables.

Los valores promedio de las características morfológicas vegetativas para las veinticuatro progenies a los 12 meses después de establecidas en vivero (Anexo B). Se observan diferencias en las características vegetativas con coeficientes de variación de 7,1 a 44,4%. La emisión de hojas (EH) más alta se registró para las progenies 10 y 13 (5,8 hojas equivalente a 2,9 hojas / mes), mientras que la menor producción de hojas se presentó en las progenies 4 y 23 con 3 y 3,1 hojas / bimensuales respectivamente, equivalente a 1,5 hojas / mes. La progenie con menor diámetro del tallo es la 16 (5,11 cm); y con menor longitud del raquis (LR) la progenie 8 (18,6 cm). También se encontró una cantidad considerable de variación en la longitud de los folíolos (LF) progenie 1 (22,7 cm) y mayor para la progenie 3 (32,9 cm) y el ancho de los folíolos (AF). Menor valor para la progenie 1 (1,2 cm) y 20 (2,3 cm). Las progenies 20 y 3 tuvieron los valores de AF y LF más altos respectivamente, mientras que 1 y 9 tuvieron valores de LF y AF más bajos (22,7 cm y 1,2 cm respectivamente). Los valores observados para las características biométricas en las dos edades de evaluación son concordantes con los trabajos realizados por Ibarra-Ruales & Reyes-Cuesta (2015) y Reyes *et al.* (2008) con palmas de aceite en fase de vivero en Tumaco (Nariño, Colombia) donde se encontraron promedios de emisión de hojas/mes de 2,12 en OxG y 1,96 en DxP, mientras que altura de planta fue menor (16,6 a 22,9 a los 10 y 12 meses respectivamente) a la reportada para OxG 31,21 y 22,71 DxP a los 11 meses en vivero.

En la **Tabla 2-7** se observa que las progenies con menor área de la sección del pecíolo (ASP) a los 10 meses después de siembra en vivero fueron las progenies 1, 9 y 8 (0,27, 0,29 y 0,31 m² respectivamente). El área de la hoja (AH), es un componente derivado de LF, AF y NF presentó un rango de 0,023 – 0,086 m² y el menor valor para las progenies 1,

8 y 19 con 0,023 y 0,024m² y el mayor en la progenie 20 con 0,086; el área de las hojas está asociada a los componentes número, largo y ancho de los foliolos. Las progenies con menor área de la sección del pecíolo (ASP) a los 12 meses después de siembra en vivero fueron: progenie 16 (0,374 cm²), progenie 6 (0,423 m²) y progenies 12 y 13 (0,477 m² y 0.485 m² respectivamente). Mientras que el peso seco de la hoja cuatro (PSH) presentó un rango de 0,24 a 0,28 kg con promedio de 0,27±0,01 Kg. Escobar & Alvarado (2004) y Oboh & Fakorede (1997) indican que de manera general en la selección de características vegetativas en palma de aceite se prefieren progenies con ASP (área de la sección del pecíolo), LR (Largo del raquis) y AP (altura de planta) menores, dado estos dan origen a materiales compactos estas plantas se caracterizan por presentar crecimiento lento del estípote y menor longitud de sus hojas, lo que permite aumentar densidad de siembra, es decir, el número de plantas por unidad de área, por lo que se puede aumentar el rendimiento por hectárea.

Los Coeficientes de variación para el registro a los 10 meses en fase vivero para las variables ASP, LH y AH fueron de valores medios a muy altos y para la variable PSH fueron bajos y se presentó alta variabilidad entre progenies; sin embargo, para la evaluación de los 12 meses se observaron coeficientes bajos ASP; PSH y LH y altos para el AH4; los coeficientes de variación (CV) obtenidos en ensayos de campo, se consideran bajos, cuando son menores del 10%, medio del 10 al 20% y alto del 20 al 30%, muy alto cuando son superiores a 30%. Sin embargo, Okwuagwu et al. (2008) y Hartley (1988) sugieren que para especies perennes coeficientes de variación de hasta 30 % son aceptables, dado que pueden estar asociados a las diferencias genotípicas y al efecto del ambiente en los que se llevaron a cabo los ensayos.

Tabla 2-7: Variables fenotípicas calculadas a partir de parámetros morfológicos a los 10 y 12 meses de establecidas en vivero de 24 progenies de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia CI El Mira, Tumaco-Nariño- (Colombia)

progenie	10 meses								12 meses							
	ASP		PSH		LH		AH4		ASP		PSH		LH		AH4	
	(cm ²)	(Kg)	(m)	(m ²)	(cm ²)	(Kg)	(m)	(m ²)	(cm ²)	(Kg)	(m)	(m ²)	(cm ²)	(Kg)	(m)	(m ²)
	x±EE	CV	x±EE	CV	x±EE	CV	x±EE	CV	0,608±0,0	CV	x±EE	CV	x±EE	CV	x±EE	CV
1	0,29±0,02	24,1	0,24±0,004	4,2	0,3±0,035	33,3	0,023±0,004	50	0,646±0,0	19,7	0,27±0,003	3,7	0,5±0,025	20	0,158±0,015	37,5
2	0,38±0,04	36,8	0,25±0,003	4	0,4±0,058	50	0,05±0,012	80	0,698±0,0	26,2	0,27±0,004	7,4	0,5±0,022	20	0,174±0,016	43,8
3	0,61±0,02	13,1	0,27±0,002	3,7	0,4±0,02	25	0,055±0,002	20	0,617±0,0	11,4	0,28±0,002	3,6	0,6±0,019	16,7	0,152±0,004	13,3
4	0,47±0,02	17	0,25±0,003	4	0,4±0,003	2,5	0,029±0,003	33,3	0,623±0,0	16,1	0,27±0,002	3,7	0,4±0,021	25	0,086±0,004	22,2
5	0,48±0,02	14,6	0,26±0,002	3,8	0,3±0,002	3,3	0,055±0,002	20	0,423±0,0	12,9	0,27±0,002	3,7	0,4±0,019	25	0,074±0,004	28,6
6	0,39±0,03	30,8	0,25±0,002	4	0,3±0,024	33,3	0,035±0,002	33,3	0,605±0,0	21,4	0,25±0,002	4	0,3±0,02	33,3	0,082±0,004	25
7	0,51±0,02	19,6	0,26±0,002	3,8	0,3±0,002	3,3	0,065±0,004	33,3	0,693±0,0	20	0,27±0,002	3,7	0,4±0,02	25	0,095±0,006	33,3
8	0,31±0,03	29	0,24±0,003	4,2	0,2±0,003	5	0,024±0,003	50	0,687±0,0	23,2	0,28±0,004	7,1	0,5±0,019	20	0,153±0,008	26,7
9	0,27±0,04	40,7	0,23±0,003	4,3	0,3±0,033	33,3	0,046±0,013	133,3	0,51±0,03	14,3	0,28±0,003	3,6	0,6±0,033	16,7	0,193±0,01	16,7
10	0,39±0,02	20,5	0,25±0,003	4	0,3±0,03	33,3	0,033±0,003	33,3	0,54±0,04	21,6	0,26±0,002	3,8	0,3±0,023	33,3	0,08±0,005	25
11	0,41±0,03	17,1	0,25±0,004	4	0,3±0,038	33,3	0,057±0,011	50	0,477±0,0	27,8	0,26±0,005	7,7	0,4±0,024	25	0,13±0,01	30,8
12	0,45±0,02	17,8	0,25±0,002	4	0,4±0,024	25	0,079±0,009	50	0,485±0,0	18,8	0,25±0,003	4	0,4±0,027	25	0,122±0,011	33,3
13	0,52±0,06	32,7	0,26±0,007	7,7	0,4±0,035	25	0,059±0,004	16,7	0,519±0,0	18,8	0,26±0,002	3,8	0,4±0,022	25	0,076±0,007	37,5
14	0,44±0,01	13,6	0,25±0,002	4	0,3±0,024	33,3	0,048±0,005	40	0,654±0,0	23,1	0,26±0,002	3,8	0,4±0,021	25	0,063±0,004	33,3
15	0,52±0,01	9,6	0,26±0,002	3,8	0,4±0,022	25	0,04±0,002	25	0,374±0,0	12,3	0,27±0,002	3,7	0,4±0	0	0,07±0,004	28,6
16	0,44±0,04	31,8	0,25±0,003	4	0,4±0,027	25	0,056±0,011	66,7	0,671±0,0	21,6	0,24±0,002	4,2	0,4±0,02	25	0,068±0,006	42,9
17	0,42±0,08	50	0,25±0,008	8	0,3±0,038	33,3	0,047±0,019	100	0,602±0,0	19,4	0,27±0,003	3,7	0,6±0,025	16,7	0,164±0,013	31,3
18	0,45±0,03	24,4	0,25±0,003	4	0,3±0,03	33,3	0,042±0,009	60	0,704±0,0	22,2	0,26±0,003	3,8	0,4±0,029	25	0,081±0,003	12,5
19	0,35±0,02	22,9	0,24±0,003	4,2	0,3±0,026	33,3	0,024±0,003	50	0,539±0,0	20	0,28±0,002	3,6	0,6±0,02	16,7	0,198±0,01	25
20	0,46±0,02	21,7	0,25±0,002	4	0,3±0,02	33,3	0,086±0,008	44,4	0,585±0,0	14,8	0,26±0,002	3,8	0,4±0,02	25	0,141±0,008	28,6
21	0,49±0,01	12,2	0,26±0,002	3,8	0,3±0,002	3,3	0,072±0,002	20	0,508±0,0	13,6	0,27±0,002	3,7	0,4±0	0	0,069±0,002	14,3
22	0,36±0,02	19,4	0,24±0,003	4,2	0,3±0,027	33,3	0,031±0,003	33,3	0,676±0,0	28,6	0,26±0,003	3,8	0,4±0,029	25	0,076±0,003	14,3
23	0,54±0,02	16,7	0,26±0,003	3,8	0,3±0,003	3,3	0,054±0,003	20	0,583±0,0	19,1	0,27±0,002	3,7	0,4±0	0	0,073±0,002	14,3
24	0,48±0,02	20,8	0,25±0,002	4	0,4±0,002	2,5	0,031±0,002	33,3	0,531±0,0	15,5	0,27±0,002	3,7	0,4±0,019	25	0,09±0,008	44,4
media	0,45±0,03	26,7	0,25±0,003	4	0,3±0,026	33,3	0,05±0,008	60	0,608±0,0	24,1	0,27±0,002	3,7	0,4±0,022	25	0,1±0,013	54,5

NOTA: x=promedio. EE= error estándar. cv.= coeficiente de variación. ASP= área de la sección del peciolo; PSH= Peso seco de la hoja; LH=Largo de la hoja y AH4=Área de la hoja 4

2.2.3 Análisis de varianza de caracteres morfológicos en fase de vivero

El conocimiento de componentes de variación genética y la explotación racional y eficiente de ésta, es importante en el éxito de los programas de mejoramiento (Carmarena & Ponce, 2017). La normalidad fue comprobada por la prueba de Kolmogorov-Smirnov, se encontró que las variables EH, LP, AH, PSH, AFP e IAF para ambas edades en vivero no presentaron normalidad por tanto no se tomaron en cuenta para el análisis de varianza. El análisis de varianza individual para las variables DT, AP, NF, LF, AF, LR, ASP y NH

Tabla 2-8 y **Tabla 2-9**. Para la fuente de variación repetición no presentó diferencias significativas para todas las variables, esto indica que el diseño experimental empleado homogeniza las condiciones de los bloques, lo que favorece que no exista comportamiento diferente, entre repeticiones y se aplicó manejo agronómico similar a toda la población. Para la fuente de variación de hembras dentro de machos H(M) a los 10 meses, se encontró diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$) para las variables DT, AP, LF, AF, LR, ASP y NH y diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para la variable NF mientras que a los 12 meses todas las variables presentaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$); esta variación muestra que cada macho presenta diferente comportamiento al cruzarse con las hembras, la diferencia detectada es importante para discriminar las progenies más sobresalientes y con buen atributo agronómico.

Los coeficientes de variación (CV%) (

Tabla 2-8 y **Tabla 2-9**) fueron bajos para todos los rasgos estudiados, para los 10 y 12 meses de establecidas las progenies en vivero indicando la presencia de poca influencia del error experimental. Para los 10 meses los valores fueron: diámetro del tallo (DT) 7,4%, altura de planta (AP) 10,1%, número de folíolos (NF) 15,4%, largo de folíolos (LF) 5,4%, ancho de folíolos (AF) 10%, largo de raquis (LR) 10,5%, área de la sección del peciolo (ASP) 13,2% y número de hojas por planta (NH) 7,8%. Mientras que para los 12 meses las

variables presentaron menor coeficiente de variación DT 6,11%; AP 6,84%; NF 7,46%; LF 4,08%; AF 15,51%; LR 7,08%; ASP 7,03% y NH 6,7% y AF 15,51%. En la evaluación realizada los mayores valores observados fueron 15.4% (NF) (10 meses) y 15,51% (AF) (12 meses). Los coeficientes de variación obtenidos para todas las características en las dos épocas estuvieron dentro de los límites aceptados para los experimentos con especies perennes evaluados en campo ($\leq 30,0\%$) según lo mencionado por Okwuagwu et al. 2008 y Padilha et al. 2003, mostrando buena precisión experimental en el presente estudio.

Tabla 2-8: Cuadrados medios del análisis individual de varianza según diseño genético carolina Norte I 10 meses de establecidas en vivero de 24 progenies de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia CI El Mira, Tumaco-Nariño (Colombia)

FV	GL	DT	AP	NF	LF	AF	LR	ASP	NH
Modelo	25	1,22**	21,39**	28,94**	23,3**	0,176**	23,27**	0,018**	7,51**
repetición	2	0,021ns	1,82ns	4,6ns	0,008ns	0,012ns	0,95ns	0,00005ns	0,09ns
Progenies	23	1,33ns	23,09ns	31,06ns	25,32ns	0,19ns	25,21ns	0,019ns	8,16ns
Macho	5	0,39ns	4,28ns	15,39ns	13,73ns	0,093ns	29,71ns	0,013ns	6,4ns
hembra(macho)	18	1,59**	28,32**	35,41*	28,55**	0,217**	23,96**	0,021**	8,64**
Error	46	0,13	2,65	6,13	2,23	0,028	6,24	0,003	0,39
Total	71								
Coef Var		7,44	10,19	15,4	5,41	10	10,53	13,28	7,82
Media		4,82	15,97	16,07	27,6	1,68	23,73	0,43	7,95

NOTA: **=altamente significativo ($P \leq 0,01$); * =significativo ($P \leq 0,05$); ns=no significativo; FV= Fuentes de variación; GL=Grados de libertad; DT=Diámetro del tallo; AP= Altura planta; NF= Numero de foliolos; LF= Largo de foliolos; AF= Ancho de foliolos; LR = largo del Raquis; ASP= área de la sección del peciolo; NH= Numero de hojas.

Tabla 2-9: Cuadrados medios del análisis individual de varianza según diseño genético carolina Norte I 12 meses de establecidas en vivero de 24 progenies de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia CI El Mira, Tumaco-Nariño (Colombia)

FV	GL	DT	AP	NF	LF	AF	LR	ASP	NH
Modelo	25	1,35**	35,53**	122,97**	21,02**	0,29**	91,42**	0,024**	6,29**
Repetición	2	0,13ns	4,2ns	0,4ns	1,83ns	0,13ns	0,74ns	0,00024ns	0,7ns
Progenies	23	1,46ns	38,25ns	133,63ns	22,69ns	0,31ns	99,3ns	0,026ns	6,77ns
Macho	5	2,48ns	76,93*	259,15ns	24,43ns	0,69*	125,28ns	0,026ns	7,38ns
hembra(macho)	18	1,18**	27,51**	98,76**	22,2**	0,2**	92,09**	0,025**	6,61**
Error	46	0,17	2,5	3,71	1,56	0,13	5,48	0,002	0,3
Total	71								
Coef Var		6,11	6,84	7,46	4,08	15,51	7,08	7,03	6,7
Media		6,66	23,1	25,81	30,64	2,31	33,07	0,58	8,23

NOTA: **=altamente significativo ($P \leq 0,01$); * =significativo ($P \leq 0,05$); ns= no significativo, FV= fuentes de variación, GL= grados de libertad, DT=Diámetro del tallo; AP= Altura planta; NF= Numero de foliolos; LF= Largo de foliolos; AF= Ancho de foliolos; LR = largo del Raquis ASP= área de la sección del peciolo; NH= Numero de hojas.

Los cuadrados medios del análisis de varianza combinado **Tabla 2-10** se presentaron valores de F significativos entre las progenies y las edades en vivero no presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para los rasgos: AP, DT, NF, LF, AF, LR, LP, ASP y NH. Esto indica que existe variabilidad genética para todos los rasgos analizados. Esta variabilidad es positiva para la mejora futura porque existe variabilidad genética dentro de la población (Hallauer et al. 2010; Raffi et al. 2002). Además, indica que las progenies se comportaron de manera diferencial en el ambiente de estudio. La fuente de variación progenie presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para las características AP, DT, NF, LF, AF, LR, ASP y NH; esta variación es debida a que cada macho muestra diferente comportamiento genético cuando se cruza con una hembra específica, atribuible a que existen diferencias dentro de las progenies empleadas en los cruces. Para la fuente de interacción EP*H(M), se encontraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$) para todas las variables, el ambiente tiene efecto sobre los caracteres vegetativos en etapa de vivero. Falconer (1986) asocia la identificación de los cambios del genotipo como un factor de alta importancia en la valoración de progenies para diferentes ambientes, porque los efectos del ambiente cambian la magnitud de la respuesta; es por lo que la interacción genotipo ambiente (GxE), es un componente de varianza adicional a evaluar en las pruebas de materiales. Así mismo Sterling (1993) indica que la interacción GxE mide el nivel de adaptación a las condiciones locales y la diferencia en comportamiento; sin embargo, cuando se desconoce el valor de GxE, pueden descartarse genotipos en fases iniciales del proceso de mejoramiento.

Los coeficientes de variación (CV%) (**Tabla 2-10**) fueron bajos para todos los rasgos estudiados, para las diferentes variables: el diámetro del tallo (DT) 5,8%, altura de planta (AP) 8,22%, número de folíolos (NF) 9,55%, largo de folíolos (LF) 4,85%, ancho de folíolos (AF) 13,36%, largo de raquis (LR) 9,03, área de la sección del peciolo (ASP) 9,28% y número de hojas por planta (NH) 6,44%. Okwuagwu et al (2008) emplea el criterio de coeficientes de variación de 30% cultivos perennes, lo cual se cumple en la evaluación realizada cuyos mayores valores estuvieron en un rango entre 4,85% (LF) y 13,36% (AF). Por otra parte, Henson (2002) asocia a la variable área de la hoja como una variable relacionada con la interceptación de luz y es altamente influenciada por el ambiente, que a su vez es un factor importante que influye directamente en el crecimiento y desarrollo de la planta, pues se relaciona con la acumulación de materia seca y rendimiento de biomasa.

Tabla 2-10: Cuadrados medios del análisis Combinado de varianza según diseño genético carolina Norte I de 24 progenies de la colección de trabajo de palma americana de aceite en fase de vivero ubicadas en el Centro de Investigación El Mira, Tumaco, Nariño (Colombia)

FV	GL	AP	DT	NF	LF	AF	LR	ASP	NH
Modelo	97	34,76**	2,01**	77,16**	15,69**	0,31**	64,36**	0,0201**	3,79ns
rep	2	5,72ns	0,1ns	3,72ns	0,86ns	0,1ns	1,59ns	0,0001ns	0,63ns
Pro	23	27,2**	1**	97,52**	35,75**	0,14ns	64,89**	0,022**	6,8**
rep*Pro	46	2,57ns	0,18*	5,83ns	1,8ns	0,09ns	5,15ns	0,0028ns	0,42ns
EP	1	1830,2**	121,66**	3418,35**	331,39**	14,4**	3139,3**	0,781**	2,93ns
EP*Pro	23	34,15**	1,78**	67,16**	12,27**	0,36**	59,62**	0,0228**	8,14**
EP*rep	2	0,3ns	0,05ns	1,28ns	0,98ns	0,05ns	0,11ns	0,0002ns	0,17ns
macho	5	43,09ns	1,16ns	177,04ns	13,14ns	0,18ns	91,99ns	0,014ns	2,84ns
hembra(macho)	5	38,12ns	1,71ns	97,5ns	25,01*	0,6ns	63ns	0,024ns	10,94ns
EP*M	18	22,78ns	0,96ns	75,43ns	42,02**	0,13ns	57,36ns	0,024ns	7,89ns
EP*H(M)	18	33,05**	1,8**	58,74**	8,73**	0,29**	58,69**	0,022**	7,36**
Error	46	2,58	0,11	4	2	0,07	6,58	0,0022	0,27
Total	143								
Coef Var		8,22	5,8	9,55	4,85	13,36	9,03	9,28	6,44
Media		19,53	5,74	20,94	29,12	2	28,4	0,51	8,09

NOTA: **=altamente significativo ($P \leq 0,01$) * =significativo ($P \leq 0,05$), ns= no significativo, FV= fuentes de variación, GL= grados de libertad; rep= Repetición; EP= Epoca evaluación; M= Macho; H= Hembra. DT=Diámetro del tallo; AP= Altura planta; NF= Numero de foliolos; LF= Largo de foliolos; AF= Ancho de foliolos; LR = largo del Raquis ASP= área de la sección del peciolo; NH= Numero de hojas.

2.2.4 Componentes de la varianza y parámetros genéticos

La evaluación de los componentes genéticos de los caracteres de crecimiento en los primeros años de desarrollo en especies perennes es de utilidad para los mejoradores que buscan, identificar los mejores individuos y familias, utilizando esto para cuantificar la eficiencia de la selección temprana y la reducción de tiempo en los ciclos de selección (Ludke et al. 2017, Resende et al. 2005). En la **Tabla 2-11** se presentan los estimados de las varianzas de machos, así como de hembras dentro de machos que son usados como base para estimar los parámetros genéticos de la población en estudio. La varianza de macho es menor que la varianza de hembras dentro de machos, lo que por consecuencia dará que la varianza de dominancia (σ^2D) sea mayor para todas las variables. Las estimaciones de varianza genética (σ^2G) fueron más altas que las de la varianza ambiental (σ^2E) para las variables DT, AP, NF, LF, AF, LR, y NH. El componente de varianza

fenotípica (σ^2F) varió de 0,41% (Ancho de foliolos) a 45,17% (Número de foliolos) para la evaluación de 10 meses después de siembra en vivero. Todos los caracteres presentaron varianzas genéticas entre plantas mayores a las σ^2E , evidenciando una baja influencia ambiental.

Tabla 2-11: Estimaciones de parámetros genéticos según diseño I de Carolina del Norte de progenies de *E. oleifera* de la colección de trabajo 10 meses en vivero ubicadas en el Centro de Investigación El Mira, Tumaco, Nariño (Colombia)

Parámetro	DT	AP	NF	LF	AF	LR	NH
σ^2m	0,017	0,334	0,278	0,206	0,004	0,080	0,031
$\sigma^2h(m)$	0,487	8,557	9,760	8,773	0,095	5,907	2,750
σ^2A	0,067	1,336	1,112	0,823	0,016	0,319	0,124
σ^2D	1,880	32,891	37,928	34,270	0,363	23,307	10,87
σ^2G	0,55	9,89	10,87	9,60	0,11	6,23	2,87
σ^2E	0,13	2,65	6,13	2,23	0,03	6,24	0,003
σ^2F	2,08	36,88	45,17	37,32	0,41	29,87	11,39
H^2	93,74	92,81	86,43	94,03	93,10	79,11	96,58

Nota: σ^2m = Varianza de machos. $\sigma^2h(m)$ = Varianza de hembra dentro de machos. σ^2A =Varianza Aditiva. σ^2D = Varianza de dominancia. σ^2E = Varianza del ambiente. σ^2F =Varianza fenotípica. H^2 = Heredabilidad en sentido amplio. DT=Diámetro del tallo; AP=Altura de planta. NF= Numero de foliolos; LF= Largo de foliolos; AF= Ancho de foliolos; LR = largo del Raquis y NH= Numero de hojas.

Los parámetros genéticos estimados para las progenies de *E. oleifera* a los 12 meses de establecidas en vivero; la varianza de machos, así como de hembras dentro de machos, son usados como base para estimar los parámetros genéticos de la población en estudio (**Tabla 2-12**). La varianza de macho es menor que la varianza de hembras dentro de machos, lo que por consecuencia dará que la varianza σ^2D sea mayor para esta variable. Al descomponer la varianza genética (σ^2G) en sus componentes: aditivo, dominante y ambiental se encuentra que el mayor aporte lo da la varianza de dominancia (σ^2D). Las estimaciones de σ^2G fueron más altas que las de σ^2E para las variables DT, AP, NF, LF, AF, LR y NH. El componente σ^2F varió de 0,22 (ancho de foliolos) a 120,96 (Largo del raquis) para la evaluación de 12 meses después de siembra en vivero.

Tabla 2-12: Estimaciones de parámetros genéticos según diseño I de Carolina del Norte de progenies de *E. oleifera* de la colección de trabajo 12 meses en vivero ubicadas en el Centro de Investigación El Mira, Tumaco, Nariño (Colombia)

Parámetro	DT	AP	NF	LF	AF	LR	NH
σ^2m	0,018	0,68	2,22	0,031	0,007	0,46	0,011
$\sigma^2h(m)$	0,337	8,33	31,68	6,88	0,023	28,87	2,103

σ^2A	0,072	2,74	8,91	0,124	0,027	1,84	0,043
σ^2D	1,274	30,60	117,82	27,39	0,066	113,63	8,371
σ^2E	0,170	2,50	3,71	1,56	0,130	5,48	0,300
σ^2G	1,35	33,35	126,73	27,52	0,09	115,48	8,41
σ^2F	1,52	35,85	130,44	29,08	0,22	120,96	8,71
H^2	88,79	93,03	97,16	94,64	41,79	95,47	96,56

σ^2m = Varianza de machos. $\sigma^2h(m)$ = Varianza de hembra dentro de machos. σ^2A =Varianza Aditiva. σ^2D = Varianza de dominancia. σ^2E = Varianza del ambiente. σ^2F =Varianza fenotípica. H^2 = Heredabilidad en sentido amplio. DT=Diámetro del tallo; AP=Altura de planta. NF= Numero de foliolos; LF= Largo de foliolos; AF= Ancho de foliolos; LR = largo del Raquis y NH= Numero de hojas.

La heredabilidad en sentido amplio (**Tabla 2-11**) presentó un rango de 79,11 – 96,58 %; mientras que para la edad de 12 meses (**Tabla 2-12**) presentó un rango de 41,79 – 97,16 %; lo permite inferir que existe un alto efecto de los efectos genéticos no aditivos que afectaron los caracteres vegetativos de las plantas. El efecto de la varianza de dominancia no se transmite o hereda de padres a hijos; con base en los resultados obtenidos se puede inferir que, si el objeto del mejoramiento del carácter está asociado al cambio en el hábito de crecimiento, y tamaño del dosel, la búsqueda de progenies de crecimiento lento una buena estrategia podría ser la hibridación de progenies de baja tasa de crecimiento con el fin de explotar la σ^2D tomando como índices de selección caracteres que presentan alta correlación y heredabilidad. Ludke et al (2017) y Resende et al (2005) asocian la selección individual a nivel de plantas con ganancias genéticas superiores.

2.2.4 Análisis de correlación

Las correlaciones obtenidas de los parámetros de crecimiento de la palma americana Sinú S1 se presentan en la

Tabla 2-13 y anexo C. se toma como referencia que la correlación se considera escasa o nula cuando se presentan valores de 0 a 0,25, débil para de 0,26 a 0,50, entre moderada y fuerte para 0,51 a 0,75, entre fuerte y perfecta para 0,76 a 1,00 (Steel y Torrie, 1986). La variable diámetro del tallo (DT) se correlaciona positivamente con las variables AP; NF, AF, LP ASP, LH, AH4, AFP y IAF. En trabajos realizados por Satyabalan y Mathew (1977) lograron identificar palmas superiores con alto valor genético por medio del diámetro del bulbo y la emisión de hojas en progenies en cocotero. La variable Largo del Raquis (LR) se correlaciona con las variables DT, AP, NF, AF, ASP, PSH, LH, AH4, AFP y IAF estas correlaciones positivas se relacionan con el aumento de biomasa en los tejidos, adicional a que son características dependientes entre sí; si estas correlaciones se mantienen a lo largo de los años, la selección de plantas de menor porte de la palma americana (*E. oleifera*) puede llevarse a cabo a una edad temprana midiendo el raquis. Akpo et al. (2014) y Thompson (1984) asocian la altura como un indicador del desarrollo de la parte aérea de la planta, y correlacionada con el número de hojas y el área foliar, favoreciendo los procesos de captación de luz y dióxido de carbono por parte de la planta.

El Área de la hoja 4 (AH4) presentó correlación altamente significativa ($P \leq 0,01$) con las variables AP, DT, NF, AF, LF, LH, NH (0,88 – 0,95). La variable número de hojas por planta presenta una correlación significativa con la variable EH (0,74). En el proceso de selección para identificación temprana de individuos promisorios de *E. oleifera* este resultado es positivo para ambas características, por su relación directamente proporcional cuando una variable aumenta la otra también incrementa. Bueraheng et al. (2017) observaron correlaciones positivas (0,62 – 0,82) entre el área foliar (AF), la altura (AP) y el área de la sección transversal del pecíolo (ASP) en la evaluación de 11 progenies de palma africana tipo Tenera. Además, en ese mismo experimento se encontró que el ancho de folíolos (AF) y la emisión de hojas (EH) estaban altamente correlacionados positivamente con racimos de fruta fresca y el número de racimos, importantes componentes de la productividad de racimos y aceite por hectárea en palma de aceite. De igual forma Nampoothiri (1991) encontró que en cocotero (*Cocos nucifera*), el número de hojas y el diámetro de tallo de las plántulas son criterios importantes que se tienen en cuenta en la selección de plántulas de vivero y este vigor se correlaciona con los caracteres en la planta adulta, como floración temprana y alto contenido de frutos y rendimiento de copra.

Tabla 2-13: Correlaciones fenotípicas de 24 progenies de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia CI El Mira, Tumaco-Nariño-Colombia

	EH	DT	AP	NF	LF	AF	LR	LP	ASP	PSH	LH	NH	AH4	AFP	IAF
EH	1	-0,04	0,19	0,1	0,15	0,17	-0,02	0,13	0,08	0,08	0,03	0,74**	0,12	0,25**	0,25**
DT		1	0,88**	0,78**	0,61**	0,81**	0,85**	0,57**	0,80**	0,77**	0,83**	0,28**	0,84**	0,81**	0,81**
AP			1	0,86**	0,61**	0,81**	0,88**	0,68**	0,76**	0,74**	0,90**	0,42**	0,90**	0,88**	0,88**
NF				1	0,34**	0,78**	0,84**	0,60**	0,62**	0,60**	0,84**	0,28**	0,95**	0,90**	0,90**
LF					1	0,50**	0,64**	0,38**	0,78**	0,74**	0,61**	0,30**	0,50**	0,48**	0,48**
AF						1	0,76**	0,58**	0,70**	0,68**	0,77**	0,40**	0,89**	0,85**	0,85**
LR							1	0,62**	0,82**	0,79**	0,96**	0,21*	0,88**	0,81**	0,81**
LP								1	0,53**	0,5	0,80**	0,38**	0,64**	0,64**	0,64**
ASP									1	0,97	0,80**	0,29**	0,71**	0,66**	0,66**
PSH										1	0,76**	0,27	0,69**	0,63**	0,63**
LH											1	0,29**	0,89**	0,83**	0,83**
NH												1	0,34**	0,55**	0,55**
AH4													1	0,95**	0,95**
AFP														1	1**
IAF															1

NOTA: n = 144. **=altamente significativo (P≤0,01). * =significativo (P≤0,05), EH= Emisión de hojas; DT=Diámetro del tallo; AP= Altura planta; NF= Numero de foliolos; LF= Largo de foliolos; AF= Ancho de foliolos; LR = largo del Raquis; LP= Largo del Pecíolo ASP= área de la sección del pecíolo; PSH= peso seco de la hoja; LH= Largo de hoja; NH= Numero de hojas; AH4=Área de la hoja 4; AFP= Área foliar por palma e IAF= Índice de área foliar.

2.2.5 Análisis de componentes principales

Los autovalores de cada componente principal, extraídos del análisis de componentes principales (ACP) para los caracteres morfológicos de la palma Nolí estudiados, así como las proporciones de varianza que explican cada uno de ellos, individual como acumulada se presentan en la **Tabla 2-14**. Guttman (1953) y Kaiser (1960) establecieron un criterio utilizado en la selección de los componentes con autovalor ≥ 1 (Palacio et al. 2020). Sin embargo, son aceptables los componentes con porcentaje acumulado de variación que expliquen más del 70% de la varianza total (López e Hidalgo, 1994). En el presente estudio los tres primeros factores poseen autovalores superiores a 1 cumpliendo el criterio de Kaiser-Guttman, factores que en conjunto explican el 86,5% de la variación existente en la población evaluada.

Tabla 2-14 Estimaciones de varianza asociados a componentes principales con su respectivo aporte a la variabilidad de 24 progenies de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia CI El Mira, Tumaco-Nariño-Colombia

Componente principal	Autovalor	Diferencia	Porcentaje de variación explicada	Porcentaje acumulado
1	10,42	8,59	65,1%	65,1%
2	1,82	0,23	11,4%	76,6%
3	1,59	0,87	9,9%	86,5%

Los valores de contribución de cada uno de los componentes asociados a los caracteres morfológicos de la población evaluada se indican en la **Tabla 2-15**. En cuanto a la contribución de las variables morfológicas a los componentes principales, se encontró que para el primer Componente principal las variables **altura de planta, diámetro del tallo, número de foliolos, largo raquis, largo de la hoja, área de la hoja 4, área foliar por palma e índice de área foliar** realizan similar aporte a los autovectores seleccionados. En el segundo Componente principal las variables **emisión de hojas y Numero de hojas** son las que más contribuyen a los autovectores seleccionados. En el tercer componente principal la variable, **largo de los foliolos** es la que más aporta a los autovectores seleccionados. De las 15 variables morfo agronómicas seleccionadas para la evaluación

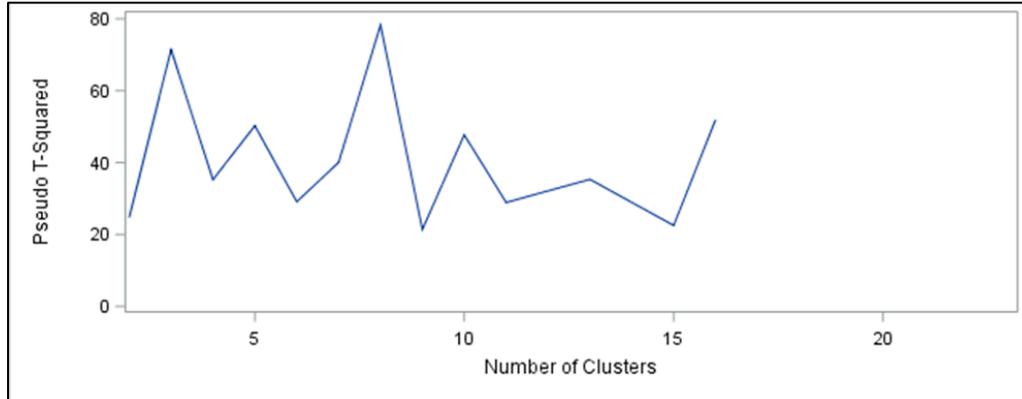
de crecimiento 11 variables son adecuadas para evaluar la variabilidad de las progenies de palma americana de aceite en fase de vivero.

Tabla 2-15: Contribución de las variables a los Componentes principales de la variabilidad de 24 progenies de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia CI El Mira, Tumaco-Nariño-Colombia

	Autovectores		
	Cp1	Cp2	Cp3
EH	0,06	-0,53	0,46
DT	0,28	0,13	-0,07
AP	0,29	-0,01	0,00
NF	0,28	-0,12	-0,29
LF	0,20	0,28	0,40
AF	0,27	-0,05	-0,04
LR	0,29	0,19	-0,05
LP	0,22	0,00	0,07
ASP	0,26	0,26	0,20
PSH	0,25	0,26	0,19
LH	0,29	0,13	-0,02
NH	0,14	-0,46	0,44
AH4	0,30	-0,06	-0,16
AFP	0,29	-0,18	-0,07
IAF	0,29	-0,18	-0,07

NOTA: Cp= Componente Principal; EH= Emisión de hojas; DT=Diámetro del tallo; AP= Altura planta; NF= Numero de foliolos; LF= Largo de foliolos; AF= Ancho de foliolos; LR = largo del Raquis; LP= Largo del Pecíolo; ASP= área de la sección del pecíolo; PSH= peso seco de la hoja; LH= Largo de hoja; NH= Numero de hojas; AH4=Área de la hoja 4; AFP= Área foliar por palma; IAF= Índice de área foliar.

En la **Figura 2-5** una depresión en la línea Pseudo T^2 es indicativo del número de grupos a elegir, este parámetro sugirió que la agrupación se produjo en cuatro, seis y nueve agrupaciones. Esto se interpreta observando el gráfico de derecha a izquierda hasta que se encuentra un valor que es notablemente mayor que el valor anterior. El pseudo- t^2 determino que los datos obtenidos podrían agruparse de manera óptima en cuatro grupos de fenotipos.

Figura 2-5: Pseudo t determinación del número de cluster

El Dendograma representa la organización jerárquica de cada una de las 24 progenies Sinú S1 con un coeficiente de 0,75. Por afinidad, de las 24 progenies se ordenaron en cuatro grupos según caracteres vegetativos (Figura 2-6). Al respecto, Franco e Hidalgo (2003) mencionan que la estadística multivariada permite el análisis eficaz de un gran número de características o rasgos de la planta y discriminar las variables más asociadas. En el análisis UPGMA permite la organización de los clusters y permite distinguir la variabilidad entre individuos, a pesar de pertenecer a poblaciones derivadas de individuos colectados en una sola región geográfica.

El Grupo 1: El grupo está integrado por diez progenies, 1, 8, 12, 2, 9, 17, 19, 11, 7 y 20 que representan el 41,6 % de la población. Sin embargo, este grupo se divide tres subgrupos. Estas progenies se caracterizan por presentar tamaño intermedio en altura, diámetro del tallo y mayor número foliolos. El 30% de las progenies son del padre C (cruces 12XC, 9XC y 11XC) y 30 % del padre E (cruces 17XE, 19XE y 20XE) y el 20% progenies del padre A (cruces 1XA y 2XA) y 20 % del padre B (cruces 8XB y 7XB) respectivamente (**Figura 2-6** y **Tabla 2-16**). El Grupo 2: Está conformado por la progenie 3; representa el 4.1% de la población. Esta progenie se caracteriza por tener el mayor diámetro del tallo y mayor crecimiento en altura de planta y mayor longitud de raquis y peciolo mayor área de la sección del peciolo y mayor peso seco de la hoja 4. Correspondiente al cruce 3XA; se puede inferir que se presenta una mayor expresión de vigor (**Figura 2-6** y **Tabla 2-16**).

Figura 2-6: Agrupamiento de los materiales *E. oleifera* Sinú en fase de vivero basado en el análisis de componentes principales; la distancia utilizada es la Media aritmética no ponderada- UPGMA. Tumaco, Nariño (Colombia)

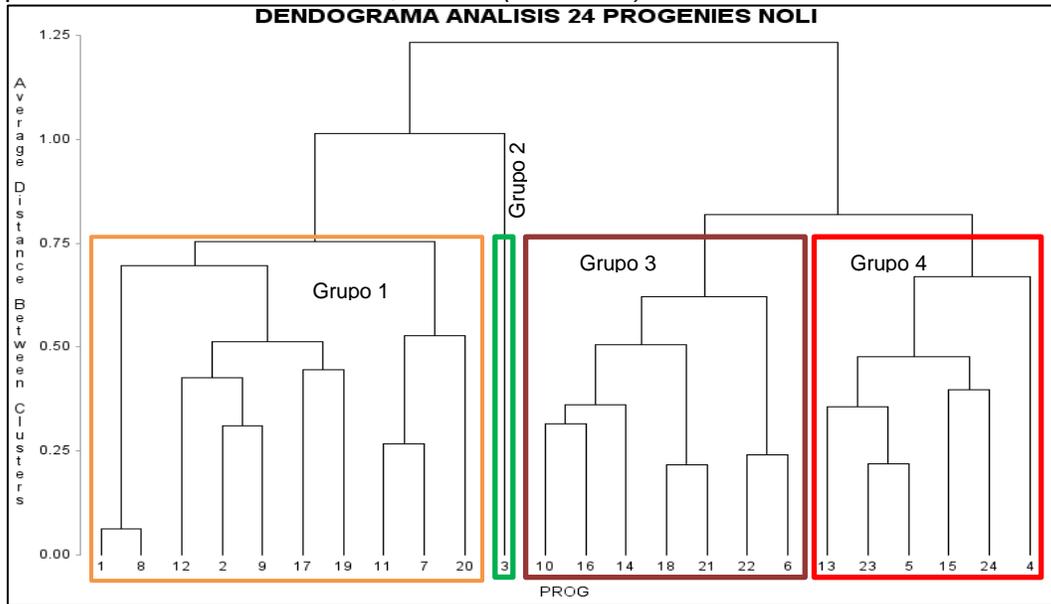


Tabla 2-16: Promedios grupos de progenies de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia en etapa de vivero.

Grupo	EH	DT	AP	NF	LF	AF	LR	LP	ASP	PSH	LH	NH	AH	IAF
1	4,3	5,91	20,9	25,0	28,5	2,1	30,7	9,7	0,50	0,26	0,41	8,0	0,10	0,87
2	4,1	6,96	24,0	23,4	34,3	2,1	33,8	12,7	0,66	0,27	0,47	9,5	0,10	1,02
3	4,2	5,43	17,6	18,1	27,4	1,9	24,3	8,9	0,46	0,25	0,33	7,7	0,06	0,47
4	4,7	5,61	18,8	17,1	31,3	2,0	28,5	9,6	0,55	0,26	0,38	8,4	0,06	0,50
Media	4,3	5,74	19,5	20,9	29,1	2,0	28,4	9,5	0,51	0,26	0,38	8,1	0,08	0,67

Nota: EH= Emisión de hojas; DT=Diámetro del tallo; AP= Altura planta; NF= Numero de foliolos; LF= Largo de foliolos; AF= Ancho de foliolos; LR = largo del Raquis; LP= Largo del Pecíolo ASP= área de la sección del pecíolo; PSH= peso seco de la hoja; LH= Largo de hoja; NH= Numero de hojas; AH4=Área de la hoja 4; IAF= Índice de área foliar.

El Grupo 3: Está conformado por siete progenies, 10, 16, 14, 18, 21, 22, y 6; representan el 29,2% de la población. Este grupo se caracteriza por ser plantas menos robustas, presentan menor diámetro de tallo, menor ancho de foliolos, menor área de la sección del pecíolo. Corresponden a progenies del padre D (cruces 16XD y14XD) y padre F (Cruces 21XF y 22XF) el 28,5% respectivamente y cruces de 10XC, 18XE y 6XB (**Figura 2-6** y **Tabla 2-16**). El Grupo 4: Está conformado por seis progenies 13, 23, 5, 15, 24 y 4;

representan el 25 % de la población. Este grupo presentan mayor emisión de hojas y menor número de folíolos por hoja. Corresponde a progenies del padre D (cruces 13XD y 15XD) y padre F (Cruces 23XF y 24XF) el 33,3% respectivamente y los cruces de 5XB y 4XA (**Figura 2-6 y Tabla 2-16**).

Por consiguiente, la generación de grupos permite realizar una distribución para un manejo de los diversos genotipos y el aprovechamiento en la selección para lograr vigor heterótico en la descendencia resultante después cruce. Balakrishna et al. (2017) indican que las accesiones del mismo conglomerado son genéticamente similares y las que se distribuyen aleatoriamente en diferentes grupos; se diversificaron a pesar de que pertenecer a la misma área geográfica. En la palma de macaúba (*A. aculeata*), en individuos autofecundados se observó depresión endogámica en los caracteres vegetativos de las plantas juveniles (altura, diámetro del tallo, número y largo de hojas, ancho del raquis y número de folíolos) (Lanes 2014). En la palma africana de aceite (*E. guineensis*), la autopolinización también tuvo un efecto de reducción de crecimiento en la mayoría de los caracteres vegetativos, excepto en la tasa promedio de producción de hojas y el índice de área foliar (Luyindula et al. 2005). La palma *Cocos nucifera*, la autofecundación provocó una reducción en el número de hojas (Liyanage 1969; Pandin 2009), el perímetro del tallo y el ancho de los folíolos (Pandin 2009). De forma temprana se podría inferir que para mejora de caracteres asociados a la morfología de la planta las 24 progenies de palma americana ubicadas en los grupos 1 y 3, progenies que poseen porte bajo e intermedio de crecimiento son interesantes para continuar su evaluación en función de los caracteres productivos y determinar si el comportamiento inicial en fase de vivero es acorde con el comportamiento en etapa productiva.

Conclusiones

- La variable diámetro del tallo (DT) presento una correlación directa positivamente con las variables AP; NF, AF, LP ASP, LH, AH4, AFP y IAF. Esta cualidad se utiliza para seleccionar plantas con adecuado crecimiento para el establecimiento de

individuos en campo. Las plantas de *E. oleifera* a los 12 meses de establecidas en vivero presentaban un diámetro de la base del tallo de 6,66 cm y 8,23 hojas.

- Los coeficientes de variación (CV%) fueron bajos para todos los rasgos estudiados, para los 10 y 12 meses de establecidas las progenies en vivero indicando la presencia de poca influencia del error experimental.
- Los valores de los componentes de varianza genética aditiva y de dominancia fueron diferentes para cada una de las variables en las 24 progenies de palma *E. oleifera*. Al descomponer la varianza genética (σ^2G) en sus componentes: aditivo, dominante y ambiental se encuentra que el mayor aporte lo da la varianza de dominancia (σ^2D) para la población de estudio.
- En la estimación de los componentes de varianza fenotípica, el valor genético contribuyó con una mayor proporción con respecto al valor ambiental en las características diámetro del tallo, altura de planta, número de folíolos, largo de folíolos, ancho de folíolos, largo del raquis, y número de hojas
- Las 24 progenies de la colección de trabajo de la especie *E. oleifera* se distribuye en 4 grupos en función de las características biométricas, debido al grado de expresión de 11 características morfológicas: altura de planta, diámetro del tallo, número de folíolos, largo raquis, largo de la hoja, área de la hoja 4, área foliar por palma, índice de área foliar, emisión de hojas, Número de hojas y largo de los folíolos.
- Los grupos 1 y 3, progenies que poseen porte bajo e intermedio de crecimiento son interesantes para continuar su evaluación en función de los caracteres productivos y determinar si el comportamiento inicial en fase de vivero es acorde con el comportamiento en etapa productiva.

Bibliografía

- Akpo, E., Stomph, T. J., Kossou, D. K., & Struik, P. C. (2014). Growth dynamics of tree nursery seedlings: The case of oil palm. *Scientia Horticulturae*, 175, 251-257.
- Ayala, L., Gómez, P. L., y Duran, C. (2000). Selección de progenitores Dura (*Elaeis guineensis* Jacq.) adaptados a las condiciones del Magdalena medio colombiano. *Revista Palmas*, 21(especial,), 25-34.
- Balakrishna, P., Pinnamaneni, R., Pavani, K.V., Mathur, R.K., 2017. Genetic diversity in Oil Palm Genotypes by multivariate analysis. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci* 6 (8), 1180–1189.
- Bastidas, S., Peña, E., & Reyes, R. (2005). Metodología de selección para el mejoramiento genético acelerado de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Prueba de campo. *Fitotecnia Colombiana*, 5(1), 46-52.
- Bastidas, S., Casas, H., Peña, E. A., & Reyes, R. (2002). Recomendaciones generales para el manejo de semilla germinada y viveros de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) (No. D-1704). Corpoica.
- Bastidas, S; Peña, E; Reyes, R. (2013). Preguntas sobre Palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq., Palma Nolí *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés y los híbridos interespecíficos Nolí x Palma de aceite (*E. oleifera* x *E. guineensis*). Bogotá: CORPOICA. 264 p.
- Bastidas, P.S., y Hurtado, C.L. 1992. Palmas prolíficas en la especie *Elaeis oleifera*, una mutación afortunada. *Santafé de Bogotá, Colombia. Palmas* 13(3): 55-60.
- Bastidas, P.S. & Hurtado; C.L. 1993. Evaluación de palmas prolíficas en la especie *Elaeis oleifera* e híbridos interespecíficos *E. oleifera* x *E. guineensis*. *Palmas* 14(4):55-60 Santafé de Bogotá, Colombia.

- Bastidas, S., & Martínez, O. (1995). Variabilidad de los segregantes de tres autofecundaciones Ténera de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Revista Palmas, 16(4), 19-25.
- Breure, C. J., y Verdooren, L. R. (1995). Guidelines for testing and selecting parent palms in oil palm, practical aspects, and statistical methods (No. 9). ASD de Costa Rica.
- Breure, C. J. (1986). Parent selection for yield and bunch index in the oil palm in West New Britain. Euphytica, 35(1), 65-72. doi:10.1007/bf00028542
- Bueraheng, N., Promma, S., & Eksomtramage, T. (2017). Biplot analysis of agronomic and yield trait relations in Tenera oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). J Sci Technol, 39, 709-714.
- Carmarena Mayta, Félix & Ponce Aguirre, Dante. (2017). Bases del análisis de experimentos genéticos aplicados al mejoramiento de plantas. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, 464p.
- Comstock R. E. and H. F. Robinson. (1948). The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the degree of dominance. Biometrics 4: 254-266.
- Comstock R. E. and H. F. Robinson. (1952). Estimation of average dominance of genes. In heterosis, Iowa State College press. USA. pp. 494-516.
- Constantin, M., Ridwani, S., Syukur, M., & Suwarno, W. B. (2017). Performance, heritability and genetic advance for oil yield and some economical characters in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacquin) of Cameroon. Journal Agronomic Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy), 45(2), 212-219.
- Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2015). The oil palm (Fifth edi., p. 674). Oxford: Blackwell Science Ltd. ISBN: 978-1-405-18939-2
- Corley, R., & Tinker, P. (2003). *The oil palm* (Fourth edi). Oxford: Blackwell Science Ltd.

- Corley, R.H.V. and C.J. Breure. (1992). Fruiting activity, growth, and yield of oil palm. I. Effects of fruit removal. *Exp. Agric.* 28(1), 99-109. Doi: 10.1017/s0014479700023048
- Corley, R.H.V.; Breure, C.J. (1981). Measurements in oil palm experiments (Internal report). London, Unilever Plantation Group. 35 p.
- Corley R.V.H.; Gray, B.S.; Ng. S.K. 1971. Productivity of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Malaysia. *Experimental Agriculture (Reino Unido)* v.7, p.129-136.
- Coto, E., Chinchilla, C., & Bulgarelli, J. (2002). Crecimiento vegetativo en previvero de cinco cruces comerciales de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.). *ASD Oil Palm Papers (Costa Rica)*, (23), 14-19.
- Cubero Salmerón, J. I. (2013). Introducción a la mejora genética vegetal. Mundi-Prensa Libros. 602 p.
- Chinchilla, C. M., Bulgarelli, J., Castrillo, G., & Alfredo, S. (1998). Material de desarrollo avanzado en viveros de palma aceitera: crecimiento y producción Resumen Introducción Metodología. *ASD Oil Palm Papers (Costa Rica)*, (17), 1-19.
- De Almeida Rios, S., Vieira da Cunha, R. N., Lopes, R., Barcelos, E., Raimundo Nonato Carvalho da Rocha, & Alves de Lima, W. A. (2018). Correlation and Path analysis for yield components in Dura oil palm germplasm. *Industrial Crops and Products*, 112, 724–733. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.12.054.
- Escobar, R., & Alvarado, A. (2004). Estrategias para la producción comercial de semillas y clones de palmas de aceite compactas. *Revista Palmas*, 25(especial), 293-305.
- Falconer, D. S. 1986. Introducción a la genética cuantitativa. CECOSA, México.
- Figuroa, J. T. G., Bastidas, S., & García, J. (2011). Estandarización de una metodología para germinar semillas del híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* HBK x *Elaeis guineensis* J. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28(1), 132-146.

- Franco, T. L. e Hidalgo, R. (2003). Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.
- Gogoue, D. O., Sekou, D., Ballo, K., & Kouassi, A. (2019). Etude du comportement morphologique sous deficit hydrique de categories de palmier a huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) en phase juvenile. *Agronomie Africaine*, 8(1), 47-62.
- Guttman, L. (1953). Image theory for the structure of quantitative variates. *Psychometrika*, 18, 277-296.
- Hallauer AR, Carena MJ, Miranda Filho J (2010) Quantitative genetics in maize breeding. Springer, Berlin.
- Hartley, C. W. S. (1988). The oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq (No. 3. ed.). Longman scientific and technical.
- Henson I. E. (2002). Oil palm pruning and relationships between leaf area and yield – a review of previous experiments. *The planter*, 78:351-362
- Ibarra-Ruales, L. N.; Reyes-Cuesta, R. (2015). Crecimiento en vivero de las palmas aceiteras *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* y *Elaeis guineensis* x *Elaeis guineensis* en Tumaco Colombia. *Revista Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.*, Mosquera (Colombia), 16(2): 239-250.
- Ibrahim, M.H., Jaafar, H.Z.E., Harun, M.H. and Yusop, M.R. (2010). Changes in growth and photosynthetic patterns of oil palm (*E. guineensis* Jacq.) seedlings exposed to short term CO₂ enrichment in a closed top chamber. *Acta Physiol. Plant.* 32: 305-13.
- Kaiser, H. F. (1960). "The Application of Electronic Computers to Factor Analysis", *Educational and Psychological Measurement*, 20(1): 141-151.
- Lee, C. T., Zaharah, A. R., Chin, C. W., Mohamed, M. H., Mohd, S. N., Tan, C. C., & Wong, M. K. (2011). Variation of leaf nutrient concentrations in oil palm genotypes and their implication on oil yield. In *Int. Soc. Oil Palm Breeders International Seminar on Breeding for Sustainability in Oil Palm*.

- López J. A. e Hidalgo, M. D. (1994). Análisis de componentes principales y análisis factorial en: Ato, M. y López, J. J. (eds.). Fundamentos de estadística con Systat. Addison Wesley Iberoamericana. pp. 457-503.
- Ludke, W. H., Bastos, A. C., Volpato, L., De Almeida, D. P., Martins, I. C., De Paiva, J. T., Da Silva, M., J. Viotto, M., Silva, T. M., Almeida, V. C. & Bautista, V. (2017). Desafios biométricos no melhoramento genético. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG, 2017
- Luyindula, N., Mantantu, N., Dumortier, F Corley, R. (2005). Effects of inbreeding on growth and yield of oil palm. *Euphytica* 143, 9–17 <https://doi.org/10.1007/s10681-005-6735-1>
- Mariotti, J.A. (1986). Fundamentos de Genética Biométrica. Aplicaciones al Mejoramiento Genético Vegetal. O.E.A. Serie de Biología, Monografía N° 32. Washington, D.C., 1986.
- Mayes, S., Jack, P. L., Corley, R. H. V., & Marshall, D. F. (1997). Construction of a RFLP genetic linkage map for oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Genome*, 40(1), 116–122. doi:10.1139/g97-016
- Meunier, J. (1975). The American oil palm *Elaeis melanococca*. *Oleagineux*, 30(2), 51-61.
- Moreno, C.L.P.; Bastidas, P.S. (2017). Morphological characterization of the American oil palm collection *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés. *Revista Acta Agronómica (Colombia)*, 66(1):135 – 140.
- Moreno-González, J., & Cubero, J. I. (1993). Selection strategies and choice of breeding methods. *Plant Breeding*, 281–313. doi:10.1007/978-94-011-1524-7_19.
- Nampoothiri, K.U.K. (1991). Impact of prepotency in coconut productivity. *CORD J.* 7: 2.
- Ndiaye, O., Diouf, O., Adon, B., & Braconniar, S. (2007). Critères physiologiques discriminants au jeune âge pour la sélection de génotypes de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) tolérants à la sécheresse. *Agronomie Africaine*, 19(1), 1-12.

- Ngando-Ebongue, G. F., Ajambang, W. N., Koona, P., Firman, B. L., & Arondel, V. (2011). Oil Palm. Technological Innovations in Major World Oil Crops, Volume 1, 165–200. doi:10.1007/978-1-4614-0356-2_7
- Noh, A., Rafii, M. Y., Din, A. M., Kushairi, A., Norziha, A., Rajanaidu, N., ... & Malek, M. A. (2014). Variability and performance evaluation of introgressed Nigerian dura x Deli dura oil palm progenies. *Genet Mol Res*, 13(2), 2426-2437.
- Oboh, B.O., Fakorede, M.A.B. (1997). A factor analysis of vegetative and yield traits in backcross progenies of an interspecific hybrid of oil palm. *J. Genet. Breed.* 51, 257–262.
- Okoye, M. N., Okwuagwu, C. O., & Uguru, M. I. (2008). Genotype and genotype by environment (GGE) biplot analysis of fresh fruit bunch yield and yield components of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *J. Appl. Biosci*, 8(1), 288-303.
- Okwuagwu, C. O., Okoye, M. N., Okolo, E. C., Ataga, C. D., & Uguru, M. I. (2008). Genetic variability of fresh fruit bunch yield in Deli/dura x tenera breeding populations of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Nigeria. *Journal of Tropical Agriculture*, 46, 52-57.
- Padilha, N. C. C., Oliveira, M. D. S. P. D., & Mota, M. G. D. C. (2003). Estimativa da repetibilidade em caracteres morfológicos e de produção de palmito em pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth). *Revista Árvore*, 27, 435-442.
- Palacio, F. X., Apodaca, M. J., & Crisci, J. V. (2020). Análisis multivariado para datos biológicos. Teoría y su aplicación utilizando el lenguaje R. Fundación de Historia Natural Félix de Azara, Buenos Aires, Argentina. 268 p. ISBN 978-987-3781-49-0
- Peña, R. E.; Bastidas, P. S.; Reyes, C. R.; Rankin, C. J. (2003). Procedimiento técnico para la producción de semilla de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) de material mejorado obtenido por CORPOICA en el C.I El Mira. CORPOICA, Regional 5, Centro de Investigación El Mira Tumaco. 74 p.
- Rafii, M. Y., Isa, Z. A., Kushairi, A., Saleh, G. B., & Latif, M. A. (2013). Variation in yield components and vegetative traits in Malaysian oil palm (*Elaeis guineensis* jacq.)

- durax pisifera hybrids under various planting densities. *Industrial Crops and Products*, 46, 147-157.
- Rafii, M.Y., Rajanaidu, N., Jalani, B. S. and Zakri, A.H. (2001). Genotype x environment interaction and stability analyses in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) progenies over six locations. *J. Oil Palm Res.* 13: 11-41.
- Rafii, M.Y.; Rajanaidu, N.; Jalani, B.S.; Kushairi, A. (2002). Performance and heritability estimations on oil palm progenies tested in different environments. *J. Oil Palm Res.* 2002, 14 (1): 15-24.
- Rajanaidu, N. (2013). A review of oil-palm breeding. *Progress in Plant Breeding—1*, 139.
- Rajanaidu, N. (2000). Materiales futuros de siembra para la industria de la palma de aceite. *Revista Palmas*, 21(especial,), 291-299.
- Resende, M. D. V de., Barbosa, M. H. P., Rezende, G. D. S., Aguiar, A. M., Dias, L. D. S., & Sturion, J. A. (2005). Métodos e estratégias de melhoramento de espécies perenes: estado da arte e perspectivas. In *Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: congresso brasileiro de melhoramento de plantas, 3., 2005, Gramado. Anais. Passo Fundo: Embrapa Trigo; [SI]: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2005.
- Reyes, C.R.; Rodríguez, H.N.; Peña, R.E.; Bastidas, P.S. (2008). Crecimiento en vivero de materiales comerciales de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Tumaco, Colombia. *Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria.* 9(2): 12-18. ISSN 0122-8706. Biblioteca Agropecuaria de Colombia, Mosquera. Colombia.
- Reyes, R.; Riaño, N.; Chinchilla, C.; Ibarra, N. (2013a). Physiological response of young oil palms (*Elaeis guineensis*) to soil drying by evapotranspiration in two soil types under greenhouse conditions and possible implications for spear rot development. *Oil Palm Papers (Costa Rica)*, 40: 1-15.
- Reyes, R.; Riaño, N.; Chinchilla, C.; Ibarra, N. (2013b). Physiological response of young oil palms (*Elaeis guineensis*) to a steady water supply under greenhouse conditions. *Revista Oil Palm Papers (Costa Rica)*, 41:1-11.

- Reyes, R.; Riaño, N.; Chinchilla, C.; Ibarra, N. (2014). Physiological response of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) to soil water availability under field conditions in Tumaco, Colombia. *Revista Oil Palm Papers (Costa Rica)*, 42:11-20.
- Sánchez, A; Daza, E; Ruiz, R; Romero, H. M. (2011). Polinización asistida en palma de aceite. *Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: guía para facilitadores*. Bogotá (Colombia). 168 p.
- SAS® (Statistical Analysis Institute Inc). (2013). *Statistical Analysis Systems 9.4 for Windows Standard version users Guide*.
- Satyabalan, K. and Mathew, J. (1977). Identification of prepotent palms in West Coast Tall variety based on growth of progeny in the nursery. In: *International Symposium on Coconut Research and Development, Kasaragod, India*, pp-350-54.
- Segura, M., Ramírez, C., Chinchilla, C., & Torres, R. (2001). Uso de dos bioensayos para estimar el efecto residual y el valor nutricional de un compost hecho de la fibra de racimos vacíos de la palma aceitera (*Elaeis guineensis*, Jacq). *ASD Oil Palm Papers (Costa, (22)*, 12-16.
- Setiawati, U., Sitepu, B., Nur, F., Forster, B. P., & Dery, S. (2018). *Crossing in Oil Palm: A Manual*. CABI. 96p.
- Sparnaaij, L. D., (1969). Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq). In: F. P. Ferwerda and F. Wit (Eds), *Outlines of perennial crop breeding in the tropics*, p. 339–387. *Misc. Papers No. 4*, Agric. Univ. Wageningen.
- Steel, R., y J. H. Torrie. (1986). *Bioestadística: Principios y Procedimientos*. 2ª Edición. Mc Graw-Hill. México. 613 p
- Sterling, F. (1993). Modelo de selección y mejoramiento de PIPA/ASD: objetivos y necesidades del palmicultor del futuro. *Revista Palmas*, 14(especial), 26-39.
- Thompson, B. E. (1984). Seedling morphology evaluation. what you can tell by looking. In *Proceedings: Evaluating seedling quality: principles, and predictive abilities of major tests*. Workshop held October (pp. 16-18).

Tupaz-Vera, A., Ayala-Díaz, I., Barrera, C. F., & Romero, H. M. (2021). Selection of Elite dura-Type Parents to Produce Dwarf Progenies of *Elaeis guineensis* Using Genetic Parameters. *Agronomy* 2021, 11, 2581.

3. Capítulo 2. Caracterización cuantitativa de 16 progenies de palma americana (*Elaeis oleifera*) Sinú en fase juvenil de establecimiento en campo.

Introducción

La palma americana de aceite es monoica, alógama, nativa de Centro y Suramérica. La evaluación de la variabilidad en los caracteres vegetativos y de rendimiento son esenciales e importantes para la eficiente selección de genotipos de palma de aceite de élite con alto rendimiento (Corley & Tinker, 2015). El sistema de selección aplicado en el programa de mejoramiento de la palma de Agrosavia es el esquema de selección recurrente modificado, cada ciclo de selección se compone de dos fases: una dirigida hacia la obtención de híbridos comerciales (prueba de progenies) y su mejora mediante la selección recurrente de los padres seleccionados. La otra fase, conocida como fase recombinante, permite la acumulación de alelos favorables y el mantenimiento de la variabilidad genética para continuar con el ciclo de selección y complementada con la selección familiar e individual (Bastidas et al. 2013).

La obtención de nuevos cultivares comerciales de palma de aceite se considera que deben estar enfocados en alto rendimiento, alto contenido de aceite, tasa de crecimiento en altura lenta y hojas cortas (Barcelos et al., 2015; Cadena et al. 2013). La obtención de plantas con reducido crecimiento en altura para aumentan la vida útil de la plantación y disminución

de los costos de cosecha es una de las características deseables en las progenies (Bakoumé & Louise, 2007). El interés de los programas de mejoramiento genético de *E. oleifera* tiene que ver con la herencia de características a los híbridos interespecíficos (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) como es la tasa de crecimiento reducido, la producción de aceite con mayor grasa insaturada que la de *E. guineensis* y su resistencia a la Pudrición del cogollo (PC). *E. oleifera* tiene baja actividad lipasa y produce aceite con mayor contenido de yodo, pero tiene una baja proporción de aceite en el mesocarpio, esta baja producción de aceite hace que *E. oleifera* no sea adecuada para producción comercial (Arias et al. 2015; Corley Tinker, 2015; Cadena et al. 2013). Debido a la variación morfológica, se cree que Colombia, Surinam y el noroeste de Brasil es el centro de origen de la especie *E. oleifera* (Barcelos et al. 2015; Morcote-Rios & Bernal, 2001; Ooi et al. 1981; Meunier, 1975). y el centro de diversificación se considera la cuenca del río Amazonas (Barcelos et al., 2002; Morcote-Rios & Bernal, 2001; Meunier, 1975). Algunas características presentan alta heredabilidad en la selección fenotípica de los progenitores de palma de aceite como el crecimiento en altura del tallo (Jacquemard et al., 1981), la composición de ácidos grasos del aceite (Wuidart y Gascon, 1975) y resistencia al marchitamiento por *Fusarium* (Meunier et al., 1979).

Los cultivos de palma de aceite se siembran a una densidad de 130-150 plantas por hectárea y poseen índices de área foliar entre 4 y 5, lo que lleva a una eficiencia de intercepción de luz cercana a uno (Pallas et al. 2013). El crecimiento, la acumulación de biomasa y la productividad, están afectadas por la eficiencia para transformar la energía solar en carbohidratos (Henson, 2002). En palma africana el índice de área foliar (IAF) aumenta linealmente desde la siembra hasta los 5-6 años después y alcanza su máximo valor a los 10 años, cuando las hojas obtienen su mayor área; mientras el índice de área foliar varía entre 4 y 6 según el genotipo, el ambiente, la densidad de siembra, poda y manejo agronómico general (Woittiez et al. 2018; Breure, 2010; Gerritsma & Soebagyo, 1999; Squire & Corley, 1987; Corley et al., 1973). Por tanto, labores como la poda y la determinación de densidades de siembra deben apoyarse en los parámetros de crecimiento. Breure (2010) encontró que los rendimientos se reducen cuando el IAF supera un valor de 6 debido al sombreado entre plantas.

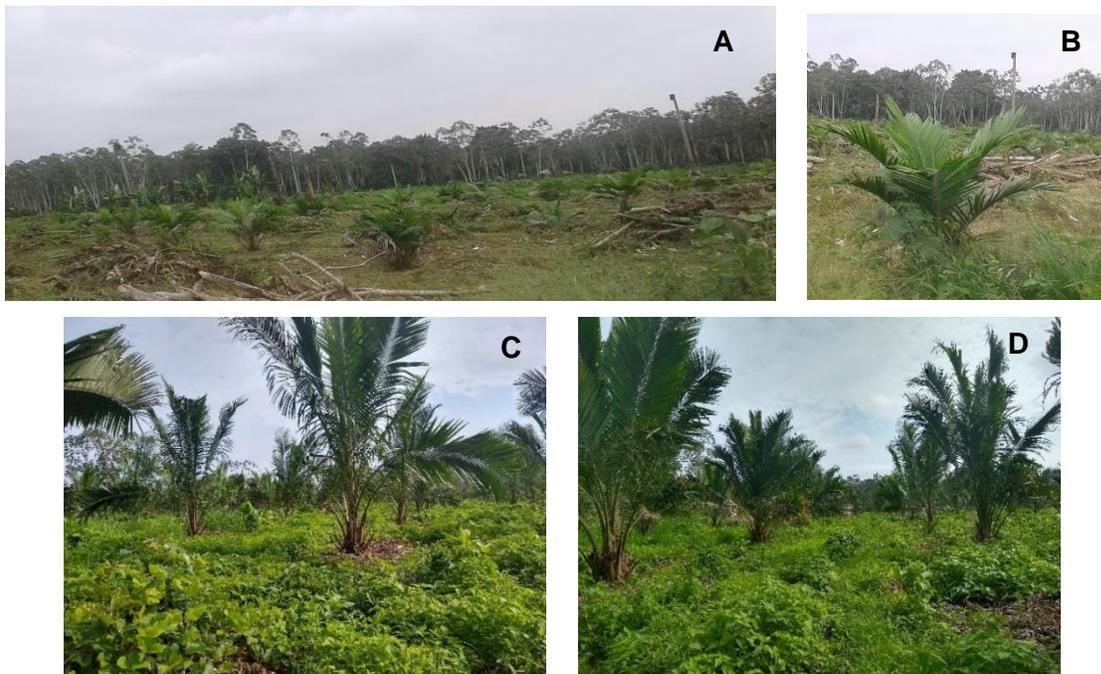
La variación en respuestas de crecimiento y estrés que ocurre en la etapa de vivero y adaptación en el campo, han mostrado, diferencias marcadas en la productividad entre las palmas inclusive cuando se ha realizado una selección rigurosa (Okwuagwu et al., 2008). En diferentes trabajos realizados en palma africana de aceite se ha encontrado correlación positiva entre la altura promedio de las plántulas en el vivero y la precocidad; entre el diámetro de tallo y el área foliar con correlación positiva con el rendimiento y, por lo tanto, puede utilizarse como criterio de selección en plántulas de vivero; el índice de área foliar, el rendimiento de racimos y el número de racimos presenta correlaciones positivas con el área foliar; las palmas con mayor área foliar se deben seleccionar por su rendimiento para su uso en la mejora de la palma de aceite (Corley y Tinker, 2015; Sapey et al. 2012, 2017). En condiciones de campo, el número de racimos y el peso del racimo están correlacionados negativamente y son altamente influenciados por factores ambientales (Corley & Tinker, 2003; Okoye et al. 2009). Este capítulo tiene como objetivo caracterizar cuantitativamente 16 progenies recombinantes de la palma americana de aceite *E. oleifera* respecto a parámetros vegetativos de crecimiento en fase juvenil de campo con la estimación parámetros genéticos y determinación de las características que contribuyen a la diferenciación de las progenies.

3.1 Materiales y métodos

3.1.1 Localización

La fase experimental de investigación se realizó en el Centro de Investigación El Mira de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia, el cual se encuentra ubicado geográficamente en 78 ° 41'52"N y 1 ° 32'37"W, en Tumaco, Nariño, a altitud de 16 m.s.n.m.; con valores promedio generales de 26°C de temperatura, precipitación de 3000 mm/año y 85% de humedad relativa (Reyes et al 2014). Las progenies se evaluaron durante 2018, 2019 y 2020 en etapa vegetativa en campo (**Figura 3-1**), se registraron variables de crecimiento en tres edades 14, 21 y 40 meses de establecidos en campo. El ensayo fue establecido durante 2016 con 16 progenies de acuerdo con el diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones.

Figura 3-1: Plantas de *Elaeis oleifera* A y B. plantas 14 meses después de siembra en campo; C y D plantas 40 meses después de siembra en campo



Fotos: Moreno, L. 2018 y 2020

3.1.2 Material vegetal

El material sometido a evaluación corresponde a 16 progenies recombinantes de la palma americana de aceite, las cuales hacen parte de los materiales del Programa de mejoramiento de la Palma de aceite de Agrosavia. Para la obtención de estos materiales se utilizaron 16 hembras y 4 machos de palma americana de acuerdo con el diseño genético I de Carolina del Norte (Comstock y Robinson, 1948, 1952) (**Tabla 3-1**). Se evaluaron en un diseño experimental de bloques completos al azar, con dos repeticiones de cinco plantas sembradas a 9 metros en tresbolillo.

Tabla 3-1: *Genealogía de 16 progenies de la colección de trabajo de E. oleifera en etapa juvenil de campo.*

Progenie	Hembra (H)	Macho (M)	Cruza	Progenie	Hembra (H)	Macho (M)	Cruza
1	1	1	1x1	9	9	3	9x3
2	2	1	2x1	10	10	3	10x3
3	3	1	3x1	11	11	3	11x3
4	4	1	4x1	12	12	3	12x3
5	5	2	5x2	13	13	4	13x4
6	6	2	6x2	14	14	4	14x4
7	7	2	7x2	15	15	4	15x4
8	8	2	8x2	16	16	4	16x4

NOTA: Elaborado por autor

3.1.3 Variables Respuesta

3.1.3.1 Variables morfológicas en fase juvenil de campo

Las siguientes medidas biométricas se realizaron sobre la hoja pinnada No. 9 en etapa juvenil de campo (**Tabla 3-2**). Descriptores elaborados y aplicados de acuerdo con lo indicado y empleado por Corley & Breure (1981); Breure & Verdooren (1995); Reyes et al. (2008, 2013a, 2013b, 2014), Ibarra-Ruales & Reyes-Cuesta, (2015) y Corley & Tinker (2015).

Tabla 3-2: *Medidas biométricas en etapa vegetativa en campo utilizadas para caracterizar la colección de trabajo de la palma americana de aceite.*

Característica	Unidad de medida	Descripción
Emisión de hojas	Unidad	Corresponde al número de hojas emitidas por la planta a durante un determinado periodo de tiempo. Pasos para su registro: 1) Marcar con pintura el raquis de la hoja 1; hoja con más del 50% de foliolos abiertos. 2) Registrar la fecha. 3) 6 a 12 meses después se vuelve a pintar el raquis de la nueva hoja No. 1 y se cuenta el número de hojas emitidas.
Diámetro de la base del tallo	cm	Esta medida se toma en la base del bulbo y para ello se utiliza una forcípula.
Altura de planta	cm	Se registra la altura a nivel del suelo hasta la base peciolar de la hoja 25.

Característica	Unidad de medida	Descripción
Número de por planta	Unidad	Se cuenta el número total de hojas funcionales de la planta
Numero de foliolos por hoja	Unidad	Se cuenta el número de foliolos de un lado de la hoja 9.
Largo del foliolo	cm	Se mide el largo total de 4 foliolos centrales desde el ápice.
Ancho del foliolo	cm	Para esto se mide el ancho de cuatro foliolos los cuales se doblan cada uno por la mitad y la medida se toma sobre el doblez.
Ancho de la sección peciolo.	cm	Se registra en la parte donde termina el peciolo de la hoja y empieza el raquis de la hoja. Debajo del primer foliolo rudimentario
Alto de la sección peciolo	cm	Se registra en la parte donde termina el peciolo de la hoja y empieza el raquis de la hoja. Debajo del primer foliolo rudimentario
Largo del raquis de la hoja	cm	Desde el punto de inserción del último foliolo rudimentario hasta el ápice del raquis (está justo en el centro de los dos foliolos del ápice de la hoja)
Largo del peciolo hoja	cm	Desde el punto de inserción del primer foliolo rudimentario de la hoja 9 hasta la base de la inserción del peciolo con el tallo.
Área Sección Peciolo	cm ²	Se calcula a partir de la ecuación de acuerdo con Corley & Breure (1981): $ASP = Ancho * Alto de la sección del peciolo.$ (3-1)
Peso Seco hoja 9	kg	Se calcula con la ecuación de acuerdo con Corley et al. (1971): $PSH9 = 0,206 + (0,102 * \text{Área sección del peciolo})$ (3-2)
Largo Hoja 9	cm	Se calcula a partir de la ecuación de acuerdo con Corley & Breure (1981): $LH4 = \text{Largo del peciolo} + \text{largo del raquis}$ (3-3)
Área de hoja 9	m ²	Se calcula a partir de la ecuación de acuerdo con Corley & Breure (1981): $AH9 = \text{Número foliolos por hoja} \left(\frac{\sum(LxA)}{4 \text{ foliolos}} \right) 0.57$ (3-4)
Área foliar por palma	m ²	Se calcula a partir de la ecuación de acuerdo con Corley & Breure (1981): $AFP = \text{Área de la hoja 9} * \text{Número de hojas por palma}$ (3-5)
Crecimiento Área foliar por palma	m ²	Se calcula a partir de la ecuación de acuerdo con Corley & Breure (1981): $CAF = \text{Emisión foliar} * \text{Área de la hoja 9}$ (3-6)
Índice de Área Foliar		Relación o proporción entre la superficie foliar de todas las palmas de una ha con respecto a la superficie de una ha de terreno.
Relación de Área Foliar	m ² /kg	Relación entre la superficie foliar de una palma con la cantidad de materia seca usada en el crecimiento de esta superficie foliar.

Nota: Elaborada por autor. De acuerdo con lo indicado y aplicado por: Corley & Breure (1981); Breure & Verdooren (1995); Reyes et al. (2008, 2013a, 2013b, 2014); Ibarra-Ruales & Reyes-Cuesta, (2015) y Corley & Tinker (2015).

3.1.4 Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza para cada edad de evaluación por cada variable cuantitativa, lo que permitió estimar el comportamiento de hermanos completos, medios hermanos y obtener la estimación de los parámetros genéticos, de acuerdo con el diseño genético Carolina del Norte I. La normalidad fue comprobada por la prueba de Kolmogorov-Smirnov, procedimiento UNIVARIATE SAS Ver 9.4, 2013, adicionalmente se obtuvieron los estadísticos descriptivos de las variables. El análisis de varianza se realizó con el paquete estadístico SAS Ver.9.4 (SAS, 2013) a través del Proc GLM permitiendo obtener la varianza de machos, varianza de hembras dentro de machos, varianza del error (ambiente), esto para el caso de los análisis individuales y en el caso del análisis combinado se agregó varianza de interacción macho por época y de interacción hembra dentro de macho por época. El análisis de la caracterización morfológica se apoyó en el análisis multivariado por componentes principales - ACP (SAS, 2013). La construcción del dendograma de distancias genéticas con el software SAS versión 9.4, 2013. Las correlaciones de Pearson fueron estimadas empleando las medias ajustadas por progenie; para ello se utilizó el procedimiento PROC CORR del paquete estadístico SAS 9.4 (SAS, 2013).

3.1.5 Estimación de componentes de la varianza y parámetros genéticos

A partir de los análisis de varianza antes descritos se estimaron los parámetros genéticos, se realizó la estimación de varianza aditiva (σ^2A) y de dominancia ($\sigma^2 D$), así como la heredabilidad en sentido amplio (H^2) y la heredabilidad en sentido estrecho (h^2) se realizó

utilizando las esperanzas de cuadrados medios (ECMs) del análisis de varianza para cada una de las variables.

El diseño biparental Carolina del Norte I de Comstock & Robinson (1948), corresponde al modelo lineal:

Individual:

$$G_{ijk} = \mu + M_i + H_{(j)i} + R_k + \epsilon_{(ij)k} \quad (3-7)$$

$i = 1, 2, \dots, m$ (machos)

$j = 1, 2, \dots, f$ (hembras)

$k = 1, 2, \dots, r$ (repeticiones)

Donde: G_{ijk} = corresponde a la expresión fenotípica del cruce del macho i y la hembra j en la repetición k .

μ = Media general.

M_i = Efecto del macho i ($i: 1, 2, 3, \dots, m$).

H_j = Efecto de la hembra j cruzada con el macho i ($ij: 1, 2, 3, \dots, h$).

R_k = Efecto de repeticiones.

ϵ_{ijk} = Efecto del error experimental.

Combinado

$$G_{ijk} = \mu + A_i + M_{(j)i} + H_k + R_{il} + \epsilon_{(ij)kl} \quad (3-8)$$

$i = 1, 2, \dots, j$ (edad)

$j = 1, 2, \dots, m$ (machos)

$k = 1, 2, \dots, f$ (hembras)

$l = 1, 2, \dots, r$ (repeticiones)

Donde: G_{ijk} = corresponde a la expresión fenotípica del cruce del macho i y la hembra j en la repetición k .

μ = Media general.

A_i = efecto de la edad " i "

M_j = Efecto del macho j ($j: 1, 2, 3, \dots, m$).

H_k = Efecto de la hembra k cruzada con el macho j ($jk: 1, 2, 3, \dots, h$).

R_l = Efecto de repeticiones.

ϵ_{ijkl} = Efecto del error experimental.

De acuerdo con el modelo descrito en la **Tabla 2-5** se observan las fuentes de variación del análisis de varianza individual para el Diseño I de carolina del norte.

Tabla 3-3: Estructura del análisis de varianza para el Diseño I Carolina del Norte empleado en el análisis estadístico.

Fuentes de variación	GL	ECM	CM
Repeticiones (Rep)	r-1	$\sigma^2E + \sigma^2r$	
Machos (M)	m-1	$\sigma^2E + r\sigma^2H/M + r\sigma^2M$	CM3
Hembras (H)/M	m(h-1)	$\sigma^2 E + r\sigma^2H/M$	CM2
Error	(mh-1) (r-1)	σ^2E	CM1
Total	mhr-1		

Nota: r=repeticiones, m= machos, h=hembras, CM= Cuadrado medio ECM= Esperanzas de cuadrado medio

La estimación de los componentes de varianza del Diseño I se realiza a partir de las esperanzas del cuadrado medio (ECM) y se considera que no existe epistásis, se emplean las siguientes formulas:

$$\delta^2 m = \frac{(CM3 - CM2)}{hr} \tag{3-9}$$

$$\delta^2 h(m) = \frac{(CM2 - CM1)}{r} \tag{3-10}$$

$$\delta^2 E = CM1 \tag{3-11}$$

Estos componentes, asumiendo la no existencia de la epistásis, tienen las siguientes equivalencias:

$$\sigma^2m = CovMH = \frac{1}{4} \sigma^2A \tag{3-12}$$

$$\sigma^2h(m) = CovHC = \frac{1}{4} \sigma^2A + \frac{1}{4} \sigma^2D \tag{3-13}$$

$$\sigma^2e = -CovHC = \frac{1}{4} \sigma^2A + \frac{1}{4} \sigma^2D + \frac{1}{4} \sigma^2e \tag{3-14}$$

Los componentes de varianza genética (Ecuación (3-15) y (3-16))se calcularon de la siguiente forma:

$$\sigma^2A = 4 \sigma^2m$$

(3-15)

$$\sigma^2D = 4(\sigma^2h(m) - \sigma^2m)$$

(3-16)

La varianza fenotípica (Ecuación (3-17)) tuvo el equivalente siguiente:

$$\sigma^2F = \frac{1}{4} \sigma^2A + \frac{1}{4} \sigma^2A + \frac{1}{4} \sigma^2D + \frac{1}{2} \sigma^2A + \frac{3}{4} \sigma^2D + \sigma^2e$$

$$\sigma^2F = \sigma^2A + \sigma^2D + \sigma^2e$$

(3-17)

Heredabilidad en sentido amplio (Ecuación (3-18)) se calculó de la siguiente forma:

$$H^2 = \frac{\sigma^2G}{\sigma^2F} = \frac{(4 \sigma^2m + \sigma^2h(m))}{\sigma^2m + \sigma^2h(m) + \sigma^2e}$$

(3-18)

3.2 Resultados y discusión

3.2.3 Análisis de varianza de caracteres morfológicos en fase juvenil de campo

Los rasgos vegetativos son útiles como guía para determinar la densidad de siembra de progenies, sin embargo, se requieren mediciones frecuentes para una estimación confiable del área foliar, porque dicha área en las hojas individuales puede cambiar considerablemente debido a cambios en las condiciones de crecimiento y fructificación (Breure & Corley, 1992). Por lo tanto, registrar el área foliar durante algunos años y ver los cambios en el tamaño del dosel maduro no es una estrategia práctica para estimar la

densidad de plantación de los materiales de palma de aceite (Raffi et al. 2013). La normalidad fue probada por medio de la prueba de Kolmogorov-Smirnov, se encontró que las variables LR, ASP, PSH y AH9 para los 14 meses no presentaron normalidad por tanto no se emplearon para el análisis de varianza. En la **Tabla 3-4** se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza y las significancias de las variables evaluadas en la población a los 14 meses después de establecida en campo. La fuente de variación repeticiones mostro diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$) para las variables DT, AF y LP; diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para LF y diferencias no significativas para las variables calculadas AFP, IAF, RAF, y progenies no mostraron diferencias significativas. En la fuente de variación machos no se detectaron diferencias significativas para todas las variables evaluadas, lo que indicó que los machos son estadísticamente iguales, sin embargo, en la fuente de variación hembras dentro de machos, se presentaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$) para las variables DT, LF, AF, LP, AFP, IAF y RAF, esto indica que existen familias que muestran diferente comportamiento, dicha variación puede estar asociada por la interacción de alelos en los cruzamientos y el efecto ambiental como lo menciona Silva – Díaz et al. 2018 para poblaciones de maíz.

A los 14 meses de establecidas las progenies en campo **Tabla 3-4**, la planta presentó altura promedio de 19,47 cm; diámetro de tallo de 22,3 cm; número de foliolos en la hoja 9 de 74; largo de la hoja 9 de 1,33 m, número de hojas funcionales promedio por planta de 13 hojas y área foliar por palma de 7, 82 m² e índice de área foliar de 0,089. Mientras que a los 21 meses después de establecidas las progenies en campo **Tabla 3-5**, presentaron altura promedio de 21,75 cm; diámetro del tallo de 30,06 cm; número de foliolos en la hoja 9 de 98; largo de la hoja 9 de 2,19 m; número de hojas funcionales promedio por planta de 18 hojas; área de la hoja 9 de 1,27 m²; área foliar por palma de 23,43 m² e índice de área foliar de 0,27. En cuanto al estípite (tallo) los resultados demuestran que en *E. oleifera* predomina durante sus primeros años en campo su engrosamiento (diámetro 22,3 cm a los 14 meses; 30,06 cm a los 21 meses) es mayor respecto a su incremento de altura (19,47 cm a los 14 meses; 21,75 cm a los 21 meses); lo que es concordante con lo observado para otras palmáceas. Por ejemplo, en palmas de materiales *E. guineensis* el desarrollo de su estípite requiere de 4 a 6 años. Se considera que durante los dos primeros años se presenta el engrosamiento y posterior a ello se presenta la elongación del estípite (Corley & Tinker, 2015; Forero, et al., 2012; Cayon, 1999)

Los cuadrados medios del análisis de varianza y las significancias de las variables evaluadas en la población a los 21 meses después de establecidos en campo **Tabla 3-5**. La fuente de variación repeticiones mostro diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$) para las variables DT; NF; LF; AF; LR; LP; AH9; AFP e IAF y diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para las variables LH y NH. Estas variables presentaron diferente comportamiento, entre las repeticiones, lo que puede estar asociado a la heterogeneidad de los bloques. En la fuente de variación para hembras dentro de machos, se presentaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$) para las variables DT; NF; LF; LR; LH; NH; AH9; AFP e IAF indicando que existen hembras que presentan comportamiento diferencial en las cruza dentro de machos. la fuente de variación Machos presento diferencia significativa ($P \leq 0,05$) para la variable NH. Similar a lo reportado por Noh et al. (2012), que en la evaluación de 40 progenies dura x pisifera (DxP) encontraron diferencias altamente significativas para la fuente de variación hembras dentro de machos para las variables emisión de hojas; sección transversal del pecíolo; longitud del raquis; longitud del folíolo; ancho de foliolo, número de foliolos; altura de la planta; área foliar; índice de área foliar y diámetro del tallo.

Los coeficientes de variación (CV%) (**Tabla 3-5**) de 16 progenies de *E. oleifera* 21 meses después de establecimiento en campo, fueron bajos para todos los rasgos estudiados, indicando la presencia de poca influencia del error experimental (ambiente), para las diferentes variables: diámetro del tallo (DT) 6,5%, altura de planta (AP) 7,37%, largo de foliolos (LF) 8,6%, ancho de foliolos (AF) 5,5%, largo de raquis (LR) 7,5%, largo del peciolo (LP) 7,8%, largo de la hoja (LH) 7,4%, numero de hojas (NH) 8,6%, área de la hoja 9 (AH9) 14%, área foliar por palma (AFP) 19,3% e Índice de área foliar (IAF) 18,8%. para cultivos perennes, los valores razonables del coeficiente de variación no deben exceder 30%, lo cual se cumple en la evaluación realizada cuyos mayores valores estuvieron en un rango entre 5,4% (NF) y 19,3% (AFP). Henson (2002) al respecto en palma de aceite africana *E. guineensis* asocia el área foliar con la acumulación de biomasa, metabolismo vegetal y rendimiento de biomasa. El área de la hoja es importante en la interceptación de radiación fotosintéticamente activa y es influenciada por las condiciones del ambiente, que a su vez es el principal factor que influye en el crecimiento y acumulación de biomasa de la planta y su distribución a los diferentes órganos.

Tabla 3-4: Cuadrados medios del análisis Individual de varianza según diseño genético carolina Norte I de 16 progenies de colección de trabajo de *E. oleifera* 14 meses después de establecimiento en campo Centro de Investigación El Mira, Tumaco, Nariño (Colombia)

FV	GL	AP	DT	NF	LF	AF	LP	LH	NH	AFP	IAF
Modelo	16	69,26ns	21,9**	214,9**	28,13**	0,09ns	71,8ns	0,08**	6,6**	5,7**	0,0008*
repetición	1	105,31ns	122,5**	102,1*	30,99*	0,088ns	148,7ns	0,076ns	28,9**	27,3**	0,0041**
Progenie	15	66,86ns	15,1ns	222,42ns	27,94ns	0,09ns	66,7ns	0,081ns	5,1ns	4,3ns	0,0006ns
macho	3	55,08ns	5,9ns	149,94ns	24,25ns	0,1ns	43,8ns	0,047ns	8,1ns	4,7ns	0,0006ns
hembra(macho)	12	69,8ns	17,4**	240,53**	28,86**	0,087ns	72,4ns	0,089**	4,4*	4,2*	0,0006ns
Error	15	38,42	2,2	13,6	5,83	0,076	39,5	0,018	1,3	1,7	0,0003
Total	31										
Coef Var		9,71	6,6	4,9	6,6	7,3	14,2	10,2	8,7	16,9	17,9
Media		19,47	22,3	74,1	36,6	3,8	44,4	1,33	12,96	7,82	0,089

NOTA: **=altamente significativo ($P \leq 0,01$); * =significativo ($P \leq 0,05$); ns=no significativo; FV= Fuentes de variación; GL=Grados de libertad; AP= Altura planta; DT=Diámetro del tallo; NF= Numero de foliolos; LF= Largo de foliolos; AF= Ancho de foliolos; LR = largo del Raquis; LP= Largo del Peciolo; LH= Largo de la hoja; NH= Numero de hojas; AH9=Área de la hoja 9; AFP=Área foliar por palma; IAF = Índice de área foliar

Tabla 3-5: Cuadrados medios del análisis Individual de varianza según diseño genético carolina Norte I de 16 progenies de colección de trabajo de *E. oleifera* 21 meses después de establecimiento en campo Centro de Investigación El Mira, Tumaco, Nariño (Colombia)

FV	GL	AP	DT	NF	LF	AF	LR	LP	LH	NH	AH9	AFP	IAF
Modelo	16	144,12*	24,09**	213,15**	62,61**	0,13**	477,19**	48,13**	0,08*	7,81*	0,18**	101,52**	0,01**
repetición	1	324,87*	46,66**	390,39**	11,92ns	0,23ns	913,89**	265,71**	0,23*	26,57**	0,39**	309,32**	0,04**
Progenie	15	132,07ns	22,59ns	201,34ns	65,99ns	0,12ns	448,07ns	33,62ns	0,07ns	6,56ns	0,17ns	87,66ns	0,01ns
macho	3	142,53ns	27,73ns	108,95ns	35,3ns	0,14ns	295,25ns	23ns	0,05ns	16,78*	0,1ns	97,49ns	0,01ns
hembra(macho)	12	129,46ns	21,3**	224,43**	73,66**	0,12ns	486,28**	36,28ns	0,08*	4**	0,19**	85,2**	0,01**
Error	15	59,24	3,99	28,41	19,86	0,06	104,42	41,88	0,03	2,4	0,03	20,39	0
Total	31												
Coef Var		7,37	6,5	5,4	8,6	5,5	7,5	7,8	7,4	8,6	14	19,3	18,8
Media		21,75	30,6	97,9	51,6	4,3	136,3	82,6	2,19	17,97	1,27	23,43	0,27

NOTA**=altamente significativo ($P \leq 0,01$); * =significativo ($P \leq 0,05$); ns=no significativo; F.V = Fuentes de variación; G.L =Grados de libertad; AP= Altura planta; DT=Diámetro del tallo; NF= Numero de foliolos; LF= Largo de foliolos; AF= Ancho de foliolos; LR = largo del Raquis; LP= Largo del Peciolo; LH= Largo de la hoja; NH= Numero de hojas; AH9=Área de la hoja 9; AFP=Área foliar por palma; IAF = Índice de área foliar

Los coeficientes de variación (CV%) de 16 progenies de *E. oleifera* 40 meses después de establecimiento en campo **Tabla 3-6**, fueron bajos menores a 30% para todos los rasgos estudiados, indicando la presencia de poca influencia del error experimental (ambiente), para las diferentes variables: diámetro del tallo (DT) 8,9%, altura de planta (AP) 7,71%, número de folíolos (NF) 7,5%; largo de folíolos (LF) 9,1%, ancho de folíolos (AF) 6,2%, largo de raquis (LR) 11,1%, largo del peciolo (LP) 8%, área de la sección del peciolo (ASP) 15,6%; área de la hoja 9 (AH9) 13,7%, área foliar por palma (AFP) 21,5% e Índice de área foliar (IAF) 21,9%; se puede inferir que el IAF de la población de palmas tiene mayor variabilidad relativa que el AF es estadísticamente es homogéneo porque tiene menor coeficiente de variación. Los cuadrados medios del análisis de varianza y las significancias de las variables evaluadas en la población a los 40 meses después de establecidos en campo **Tabla 3-6**. La fuente de variación repeticiones mostro diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$) para las variables DT; LF y AF; diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para las variables LR; ASP; PSH; NH; AH9; AFP e IAF, estas variables presentaron diferente comportamiento, entre las repeticiones, puede estar asociada a la heterogeneidad de los bloques. En la fuente de variación para hembras dentro de machos, se presentaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$) para las variables LR y AH9 indicando que existen hembras que presentan comportamiento diferencial en las cruza dentro de machos. la fuente de variación Machos presento diferencia significativa ($P \leq 0,05$) para la variable AP; DT; NF; LF; AF; LP; ASP; PSH; NH AFP e IAF. Lo que indica que los machos presentan comportamiento diferencial en los diferentes cruces. El valor promedio de altura observado a los 40 meses en campo fue de 54.83 cm es decir 1,37 cm/mes. El incremento del Diámetro del tallo a los 14 MDSC fue de 22,3; a los 21 MSDC fue de 30,6 y a los 40MDSC fue de 55,3 de igual forma el Largo de raquis presento incremento lineal 88,6; 136,3 y 328,8 a los 14, 21 y 40 meses respectivamente.

Los cuadrados medios del análisis de varianza combinado para caracteres vegetativos de 16 progenies de OxO (*Elaeis oleifera* x *Elaeis oleifera*) y las significancias de las variables evaluadas en la población se presentan en la **Tabla 3-7**. En la fuente de variación que correspondió a progenies (pro) se presentaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$) para las variables Altura de planta (AP), diámetro del tallo(DT), largo de folíolos (LF), Área de la hoja 9 (AH9) y relación de área foliar (RAF) y significativas ($P \leq 0,05$) para las variables Largo del raquis (LR), Largo del peciolo (LP), Área de la sección del peciolo

(ASP) y peso seco de la hoja (PSH), sin embargo, parte de esta variabilidad es atribuida a los machos, al efecto de la hembra y al efecto de hembra dentro de macho. En la fuente de variación hembras dentro de machos, se detectaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$) para las variables DT, LF y RAF; significativas ($P \leq 0,05$) para las variables AF y AH9. Esto indica que existen familias de hermanos completos muestran diferente comportamiento, dicha variación se considera que es dada por la genética de los alelos.

Para la fuente de variación edad (ED) **Tabla 3-7**; se observaron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$), para los caracteres: AP, DT; NF, LF, AF, LR, LP, NH, AH9, AFP e IAF y diferencias significativas ($p < 0,05$) para las variables ASP y PSH, lo que permite inferir que las mismas están influenciadas por el ambiente (efecto meses después de siembra). Esta fuente de variación presenta diferencia entre progenies en el tiempo; según lo explicado por Raffi et al. (2013) el desarrollo del dosel de la palma de aceite se divide en tres fases: La fase 1 período desde el establecimiento en campo hasta el cierre del dosel o traslape de hojas, con una densidad de plantación estándar y adecuado manejo agronómico se estima a los 5 años. La Fase 2, el área foliar de las hojas jóvenes aumenta hasta que las hojas nuevas alcanzan un valor máximo y se estabiliza esta fase se estima que alcanza su máximo tamaño alrededor de los 10 años cuando las condiciones de crecimiento son óptimas, la fase 3, es el período de estabilización del crecimiento posterior a los 10 años.

Tabla 3-6: Cuadrados medios del análisis Individual de varianza según diseño genético carolina Norte I de 16 progenies de colección de trabajo de *E. oleifera* 40 meses después de establecimiento en campo Centro de Investigación El Mira, Tumaco, Nariño (Colombia)

FV	GL	AP	DT	NF	LF	AF	LR	LP	ASP	PSH	NH	AH9	AFP	IAF
Modelo	16	634,74*	84,71**	382,28*	200,35*	0,37*	1598,2**	420,92*	9,3*	0,1*	13,04*	1,8**	1849,16*	0,25*
repetición	1	778,15ns	136,37*	365,65ns	507,61*	0,68*	2763,22**	60,31ns	29,82**	0,31**	40,37**	4,46**	6663,49**	0,88**
Progenie	15	625,18ns	81,27ns	383,39ns	179,86ns	0,35ns	1520,54ns	444,96ns	7,94ns	0,08ns	11,22ns	1,62ns	1528,2ns	0,2ns
macho	3	197,92ns	62,84ns	238,43ns	60,53ns	0,12ns	670,45ns	440,16ns	0,93ns	0,01ns	7,45ns	0,51ns	877,13ns	0,12ns
hembra(macho)	12	731,99*	85,88*	419,63*	209,69*	0,4*	1733,06**	446,16*	9,69*	0,1*	12,16*	1,9**	1690,97*	0,23*
Error	15	236,21	23,95	152,29	65,38	0,12	1330,85	132,72	3,28	0,03	4,51	0,44	579,81	0,08
Total	31													
Coef Var		7,71	8,9	7,5	9,1	6,2	11,1	8	15,6	13,3	9,6	13,7	21,95	21,9
Media		54,83	55,3	164,8	89,3	5,5	328,8	144,4	11,59	1,39	22	4,84	109,68	1,26

NOTA: **=altamente significativo ($P \leq 0,01$); * =significativo ($P \leq 0,05$); ns=no significativo; FV= Fuentes de variación; GL=Grados de libertad; AP= Altura planta; DT=Diámetro del tallo; NF= Numero de foliolos; LF= Largo de foliolos; AF= Ancho de foliolos; LR = largo del Raquis; LP= Largo del Pecíolo; ASP= área de la sección del pecíolo; NH= Numero de hojas; AH9=Área de la hoja 9; AFP=Área foliar por palma; IAF = Índice de área foliar

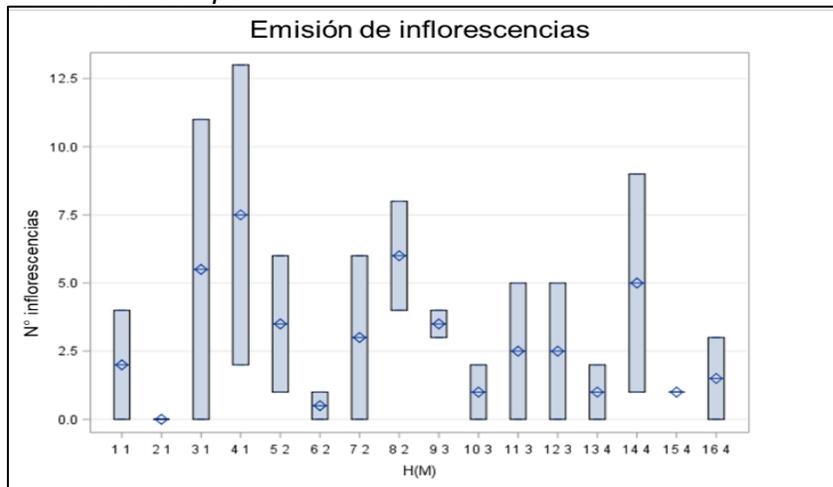
Tabla 3-7: Cuadrados medios del análisis Combinado de varianza según diseño genético carolina Norte I de 16 progenies de colección de trabajo de *E. oleifera* en fase juvenil de campo en campo Centro de Investigación El Mira, Tumaco, Nariño (Colombia)

FV	GL	AP	DT	NF	LF	AF	LR	LP	ASP	PSH	NH	AH9	AFP	IAF
Modelo	65	5004,3**	326,21**	2399,72**	810,09**	0,98**	16661,09**	2658**	126,5**	1,32**	27,85**	5,66**	3505,43**	0,46**
Rep	1	1052,12*	291,62**	799,84*	331,79**	0,85*	3260,25ns	438,32*	66,43ns	0,7ns	94,98**	2,84**	3636,13**	0,48**
Pro	15	437,84ns	88,26**	658,69**	197,8**	0,24ns	1671,29ns	250,88*	93,24ns	0,97ns	7,59ns	1,02**	756,47*	0,1*
Rep*Pro	15	182,13*	17,74**	115,3**	50,81*	0,14*	757,03*	73,46ns	112,2ns	1,17ns	3,95ns	0,25*	261,81ns	0,03ns
ED	2	154488,84**	9423,44**	70643,58**	23618,04**	26,23**	515882,26**	81507,08**	458,56*	4,78*	655,95**	165,86**	96311,86**	12,74**
ED*Pro	30	193,14**	15,37**	74,23**	37,99**	0,16**	361,5ns	147,2*	117,06ns	1,22ns	7,65**	0,41**	431,83**	0,06**
ED*Rep	2	78,11ns	6,97ns	29,15ns	109,37*	0,07ns	338,05ns	18,22ns	322,66ns	3,35ns	0,41ns	1,02**	1681,99**	0,22**
macho	3	190,67ns	73,06*	423,73**	54,08ns	0,27*	940,22*	148,53ns	16,92ns	0,18ns	9,86ns	0,46*	526,87ns	0,07ns
hembra(macho)	12	499,63*	92,06**	717,43**	233,73**	0,24ns	1854,06**	276,47ns	112,31ns	1,17ns	7,03ns	1,16*	813,87ns	0,11ns
ED*M	6	102,43ns	11,72ns	36,8ns	33ns	0,04ns	130,85ns	179,2ns	113,28ns	1,18ns	11,23ns	0,09ns	226,22ns	0,03ns
ED*H(M)	24	215,81**	16,28**	83,58*	39,24*	0,18**	419,16ns	139,2*	118,01ns	1,23ns	6,76**	0,49**	483,24**	0,06**
Error	30	75,87	6,2	39,5	20,13	0,06	374,56	70,32	103,97	1,08	2,11	0,12	170,07	0,02
Total	95													
Coef Var		7,11	6,91	5,6	7,58	5,22	10,48	9,27	136,54	107,44	8,23	15,2	27,76	27,78
Media		32,02	36,03	112,3	59,18	4,55	184,75	90,47	7,47	0,97	17,64	2,24	46,98	0,54

NOTA: **=altamente significativo ($P \leq 0,01$); * =significativo ($P \leq 0,05$); ns=no significativo; FV= Fuentes de variación; GL=Grados de libertad; Rep= Repetición; Pro= Progenie; ED= Edad; H= Hembra; M= Mach; AP= Altura planta; DT=Diámetro del tallo; NF= Numero de foliolos; LF= Largo de foliolos; AF= Ancho de foliolos; LR = largo del Raquis; LP= Largo del Pecíolo; LH= Largo de la hoja; NH= Numero de hojas; AH9=Área de la hoja 9; AFP=Área foliar por palma; IAF = Índice de área foliar

En palma africana de aceite (*E. guineensis*) desde los 20 a 24 meses después de establecidos en campo se presentan las emisiones de inflorescencias presentando alternancia entre ciclos masculinos y femeninos (Corley & Tinker, 2015), sin embargo, las 16 progenies de *E. oleifera* presentaron las primeras floraciones a los 40 meses; la proporción de plantas en floración fue el 21,29%; siendo las progenies 3-1 y 4-1 las que presentaron mayor número de inflorescencia **Figura 3-2** ; la progenie 2-1 no presentó emisión de inflorescencias, lo que demuestra que el inicio de la etapa reproductiva en *E. oleifera* es más demorado que en *E. guineensis*. *E. oleifera*, es una palma que se considera en fase inicial de domesticación, es decir, una población que ha sido modificada por la selección e intervención humana, pero cuyo fenotipo promedio aún se encuentra dentro del rango de variación encontrado en la población silvestre para el rasgo sujeto a selección (Clement 1999), por ello presenta diferencias marcadas respecto a *E. guineensis*. No obstante, los híbridos OxG (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) presentan floraciones entre los 18 a 36 meses (Bastidas et al. 2013; Alvarado et al. 2010; Richardson, 1995)

Figura 3-2: Emisión de inflorescencias en progenies de *Elaeis oleifera* Sinú 40 meses después de siembra en campo



3.2.4 Componentes de la varianza y parámetros genéticos

La estimación de los parámetros genéticos (medias, varianza y heredabilidad) permiten hacer inferencia sobre la selección e identificar las técnicas apropiadas de mejoramiento y de selección (Rafii et al., 2001; Falconer, 1989). En la **Tabla 3-8** se observan la variación de los componentes a los 14 meses después de siembra en campo (MDDSC) se debió en gran parte a la variación genética dada por la varianza de hembras dentro de machos y la varianza ambiental. La máxima variación fenotípica se observó para NF (número de foliolos) con un valor de 467,46 y la menor 0,160 para LH (largo de la hoja), esto indica que existe fuerte influencia de factores no aditivos en las familias evaluadas. Se aprecia que las variables presentaron valores de varianza aditiva (σ^2A) (0,005 – 11,32) bajos en comparación con la varianza de dominancia (σ^2D) (0,137 – 442,54), por lo tanto, la aplicación de los métodos de selección recurrente sería ineficientes para incrementar la frecuencia de esos alelos en las variables, dado que la selección puede ser efectiva, pero se requerirían varios ciclos de recombinación para lograr la acumulación de los efectos aditivos, en especies perennes como la palma de aceite requiere una alta inversión de tiempo y recursos.

Tabla 3-8: Estimaciones de parámetros genéticos diseño I de Carolina del Norte para las variables morfológicas para la colección de trabajo de *E. oleifera* 14 meses después de establecimiento en campo Centro de Investigación El Mira, Tumaco, Nariño (Colombia)

Parámetros	AP	DT	NF	LF	LP	LH	NH
σ^2m	0,46	0,36	2,83	0,14	0,89	0,001	0,12
$\sigma^2h(m)$	15,69	7,60	113,47	11,52	16,45	0,036	1,55
σ^2A	1,84	1,44	11,32	0,58	3,58	0,005	0,46
σ^2D	60,92	28,96	442,54	45,48	62,23	0,137	5,74
σ^2G	62,76	30,40	453,86	46,06	65,80	0,14	6,20
σ^2E	38,42	2,20	13,60	5,83	39,50	0,018	1,30
σ^2F	101,18	32,60	467,46	51,89	105,30	0,160	7,50
H^2	62,03	93,25	97,09	88,76	62,49	88,75	82,67

Nota: σ^2m = Varianza de machos. $\sigma^2h(m)$ = Varianza de hembra dentro de machos. σ^2A =Varianza Aditiva. σ^2D = Varianza de dominancia. σ^2E = Varianza del ambiente. σ^2F =Varianza fenotípica. H^2 = Heredabilidad en sentido amplio. DT=Diámetro del tallo; AP=Altura de planta. NF= Numero de foliolos; LF= Largo de foliolos; LP= Largo del Pecíolo; LH= Largo de la Hoja 9; NH= Numero de hojas.

La variación fenotípica (σ^2F) se divide en los componentes de variación genotípica (σ^2G) y variación ambiental (σ^2E). Para los 21 MDDSC, la máxima variación fenotípica se observó para LR (largo del raquis) con un valor de 868,14 y la menor 0,13 para LH (largo de la hoja)

Tabla 3-9. Esto indica que estos caracteres están influenciados por el efecto no aditivo, lo cual, se corrobora por el mayor aporte de la varianza de dominancia para las variables AP; DT; NF; LF; LR; LH y NH; el mayor aporte a la varianza genética (σ^2G) lo realiza la varianza de dominancia (σ^2D). Estos resultados pueden asociarse según los mencionan Rey et al. 2004, a la variabilidad genética de las progenies, que al aparearse forman individuos heterogéneos y heterocigotos en sus alelos, que reducen los efectos aditivos.

Tabla 3-9: Estimaciones de parámetros genéticos diseño I de Carolina del Norte para las variables morfológicas para la colección de trabajo de *E. oleífera* 21 meses después de establecimiento en campo Centro de Investigación El Mira, Tumaco, Nariño (Colombia)

parámetros	AP	DT	NF	LF	LR	LH	NH	AH9
σ^2m	0,41	0,20	3,61	1,1988	5,97	0,0009	0,40	0,00
$\sigma^2h(m)$	35,11	8,66	98,01	26,90	190,93	0,03	0,80	0,08
σ^2A	1,63	0,80	14,44	4,80	23,88	0,0038	1,60	0,01
σ^2D	138,81	33,82	377,61	102,81	739,84	0,10	1,60	0,31
σ^2G	140,44	34,62	392,04	107,60	763,72	0,10	3,20	0,32
σ^2E	59,24	3,99	28,41	19,86	104,42	0,03	2,40	0,03
σ^2F	199,68	38,61	420,45	127,46	868,14	0,13	5,60	0,35
H^2	70,33	89,67	93,24	84,42	87,97	76,92	57,14	91,43

Nota: σ^2m = Varianza de machos. $\sigma^2h(m)$ = Varianza de hembra dentro de machos. σ^2A =Varianza Aditiva. σ^2D = Varianza de dominancia. σ^2E = Varianza del ambiente. σ^2F =Varianza fenotípica. H^2 = Heredabilidad en sentido amplio. DT=Diámetro del tallo; AP=Altura de planta. NF= Numero de foliolos; LF= Largo de foliolos; LR = largo del Raquis; LP= Largo del Pecíolo; LH= Largo de la hoja 9; NH= Numero de hojas y AH9= Área de la hoja 9.

Las estimaciones de los parámetros genéticos para las 16 progenies de palma americana a los 40 meses se presentan en la **Tabla 3-10**. La máxima variación fenotípica se observó para LR con un valor de 2135,27 y la menor 0,17 para PSH. Hallauer & Miranda (1981) señalan que una razón por la cual en las poblaciones se presenta una menor varianza aditiva, es el origen común de los progenitores empleados como parentales, dado que cuando provienen de una sola población, es posible que se observe este tipo de acción genética y es el caso particular de los parentales de esta población poseen un origen común el Valle del Rio Sinú- Córdoba. Tchounke et al (2022) menciona que en poblaciones de tamaños finitos puede verse influenciadas por la selección y la alta precisión de la selección; la endogamia es inevitable, esta provoca la fijación alélica, lo que reduce la varianza aditiva y reduce la ganancia genética, se puede presentar depresión por endocría, es decir, la reducción en el valor medio de un rasgo, se observa para rasgos donde están involucrados efectos de dominancia, resultado de la reducción en la proporción de loci heterocigóticos

Tabla 3-10: Estimaciones de parámetros genéticos diseño I de Carolina del Norte para las variables morfológicas para la colección de trabajo de *E. oleifera* 40 meses después de establecimiento en campo Centro de Investigación El Mira, Tumaco, Nariño (Colombia)

parámetros	AP	DT	NF	LF	LR	LP	ASP	NH	PSH	LH
σ^2m	16,69	0,72	5,66	4,66	33,21	0,19	0,27	0,15	0,00	0,01
$\sigma^2h(m)$	247,89	30,97	133,67	72,16	201,11	156,72	3,21	3,83	0,04	0,10
σ^2A	66,76	2,88	22,65	18,65	132,83	0,75	1,10	0,59	0,01	0,04
σ^2D	924,8	120,98	512,03	269,98	671,59	626,13	11,73	14,71	0,13	0,36
σ^2G	991,56	123,86	534,68	288,62	804,42	626,88	12,82	15,30	0,14	0,40
σ^2E	236,21	23,95	152,29	65,38	1330,85	132,72	3,28	4,51	0,03	0,18
σ^2F	1227,77	147,81	686,97	354,00	2135,27	759,60	16,10	19,81	0,17	0,58
H^2	80,76	83,8	77,83	81,53	37,67	82,53	79,63	77,23	82,35	68,97

Nota: σ^2m = Varianza de machos. $\sigma^2h(m)$ = Varianza de hembra dentro de machos. σ^2A =Varianza Aditiva. σ^2D = Varianza de dominancia. σ^2E = Varianza del ambiente. σ^2F =Varianza fenotípica. H^2 = Heredabilidad en sentido amplio. DT=Diámetro del tallo; AP=Altura de planta. NF= Numero de foliolos; LF= Largo de foliolos; LR = largo del Raquis; LP= Largo del Pecíolo; ASP= Área de la sección del pecíolo; NH= Numero de hojas; PSH= Peso seco de la Hoja 9; LH= Largo de la hoja 9.

La heredabilidad en sentido amplio (H^2) su rango estuvo entre 62,03% (altura de planta) y el 97,09%(Numero de foliolos) (**Tabla 3-8**) para los 14 MDDSC; mientras que para la edad de 21 MDDSC (**Tabla 3-9**) la H^2 estuvo en un rango de 57,14%(Numero de Hojas) – 93,24%(Numero de foliolos); mientras que para la edad de 40 MDDSC (**Tabla 3-10**) la H^2 estuvo en un rango de 37,67% (Largo del raquis) - 82,53% (Largo del pecíolo). Noh et al (2014) realizó estimaciones de heredabilidad en sentido amplio para doce progenies de *E. guineensis* (DXD) Nigeria *dura* x Deli *dura* para los rasgos vegetativos la heredabilidad fluctuó entre 20,69 % para ancho de foliolo y 82,45% para largo del foliolo. Similar a lo encontrado por Arolu et al. (2017) encontró valores altos de heredabilidad en sentido amplio para 34 progenies de hermanos completos DxP para las variables altura de la palma (90 %), seguida de la emisión de hojas (81,02%) y la longitud del raquis (72,72%) y esto asociado a la baja influencia del ambiente sobre las características vegetativas. En trabajos realizados por Marhalil et al. (2020) en 14 cruces de tenera x pisifera (Nigeria, Camerún y Zaire (ahora RD del Congo)) encontraron que la heredabilidad en sentido amplio para los caracteres vegetativos varió de baja 27,53 % en la emisión de hojas a alta (81,48 % para el largo de raquis.

Los valores de heredabilidad en sentido amplio alcanzados en todos los caracteres para las tres evaluaciones son bajos, medios y altos, pero la determinación del carácter está influenciado por el efecto ambiental, adicional a que, adicional a que en la población los caracteres están gobernados por efectos no aditivos (dominancia), siendo, los efectos genéticos no aditivos contribuyeron en la expresión de los caracteres vegetativos de las plantas. Los efectos asociados a efectos no aditivos no se transmiten o heredan de padres a hijos, por lo que la varianza genética no es la de mayor contribución dentro de la variación fenotípica observada en los caracteres. Esto, en parte dificulta la realización de una selección efectiva, con base en los resultados se puede mencionar que, si se busca la modificación del hábito de crecimiento, la búsqueda de progenies de crecimiento lento una estrategia podría ser algún esquema de hibridación con el fin de explotar la σ^2D tomando selección caracteres que presentan correlación alta y heredabilidad media alta y otra opción viable según Ortega-Cedillo et al. (2018), es selección a nivel de plantas individuales con ganancias genéticas considerables. Los valores de heredabilidad según Hallauer & Miranda (1981) se ajustan a la población y la variable de respuesta, y es influenciada por el ambiente.

3.2.5 Análisis de correlación

La correlación entre los parámetros de crecimiento de la palma Noli se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**; se observan correlaciones altamente significativas ($p < 0,01$) entre altura de tallo con las variables DT, LR, LP, AH9, AFP e IAF. Bhagya et al. (2021) en la evaluación de germoplasma de palma de aceite del ICAR-IIOPR, sobre 73 genotipos de 7 años; encontró que la altura de la palma se correlacionó positivamente con la longitud del raquis, el número de folíolos, el número de racimos y el rendimiento de racimos de fruta fresca (RFF). El diámetro del tallo (DT) se correlaciona positivamente con las variables LR, LP, AH9, AFP e IAF; el largo del raquis (LR) se correlaciona con las variables LP, AH9, AFP e IAF, este tipo de asociación se debe al aumento de biomasa en los tejidos. El Área de la hoja 9 presenta una correlación altamente significativa ($p < 0,01$) con las variables AP, DT, LR, LP, AFP e IAF (rango de 0,82 – 0,97).

La variable número de hojas (NH) por planta presenta una correlación significativa ($p < 0,05$) con las variables AP, DT, LR, LP, ASP, AH9, AFP e IAF (rango de 0,65- 0,78); los resultados de este trabajo muestran que las características morfológicas están relacionadas entre sí, lo que indica que es posible realizar selección indirecta; en trabajos realizados por Dominiciano et al. 2015 en *Acrocomia aculeata* encontraron correlaciones entre la altura de la planta con la longitud del raquis o el grosor de este. Henson (2002), asocia en palma africana de aceite el crecimiento y acumulación de biomasa en los tejidos; con el crecimiento y engrosamiento primario del estípite o tallo, el crecimiento de los diferentes órganos y este crecimiento es acelerado en los primeros años de establecimiento en campo, y a partir del cuarto año en el que se comienza a cerrar el dosel, y su tendencia es lineal.

Tabla 3-11: Correlaciones fenotípicas de 16 progenies de palma *Elaeis oleifera* de la de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia CI El Mira, Tumaco-Nariño-Colombia

Coeficiente de Correlación de Pearson, N = 96														
Prob > r under H0: Rho=0														
	AP	DT	NF	LF	AF	LR	LP	ASP	PSH	LH	NH	AH9	AFP	IAF
AP	1	0,97**	0,97**	0,97**	0,93**	0,98**	0,99**	0,28*	0,28*	0,99**	0,83**	0,96**	0,93**	0,93**
DT		1	0,98**	0,97**	0,94**	0,97**	0,95**	0,28*	0,28*	0,98**	0,82**	0,98**	0,96**	0,96**
NF			1	0,98**	0,93**	0,98**	0,96**	0,31*	0,31*	0,98**	0,8**	0,98**	0,94**	0,94**
LF				1	0,91**	0,98**	0,96**	0,3*	0,3*	0,98**	0,82**	0,97**	0,95**	0,95**
AF					1	0,91**	0,91**	0,25*	0,25*	0,92**	0,83**	0,94**	0,92**	0,92**
LR						1	0,96**	0,3*	0,3*	1**	0,79**	0,98**	0,95**	0,95**
LP							1	0,28*	0,28*	0,98**	0,82**	0,93**	0,89**	0,89**
ASP								1	1**	0,29*	0,24*	0,3*	0,3*	0,3
PSH									1	0,29*	0,24*	0,3*	0,3*	0,3
LH										1	0,81**	0,97**	0,94**	0,94**
NH											1	0,81**	0,85**	0,85**
AH9												1	0,99**	0,99**
AFP													1	1**
IAF														1

NOTA: **altamente Significativo ($p < 0,01$). *Significativo ($p < 0,05$). Tamaño de población (n)=96. Altura de planta (AP), Diámetro del tallo (DT), Numero de foliolos (NF); Largo de foliolos (LF); ancho de foliolos (AF); Largo del raquis de la hoja (LR), Largo del peciolo (LP), Área de la sección del peciolo (ASP), Peso seco de la hoja (PSH), Largo de la hoja (LH), Número de hojas por palma (NH), Área de la hoja (AH9), Área foliar por palma (AFP) e Índice de área foliar (IAF).

El Peso seco de la hoja presentó correlaciones significativas bajas con las variables AP, DT, NF; LF; AF; LR, LP, AFP, IAF (rangos de 0,25 – 0,3). En el proceso de selección es importante que exista correlación directa entre variables para un par de características, porque cuando una variable incrementa la otra también lo realiza en igual proporción, con lo anterior se puede plantear la alternativa para el mejoramiento de la población es aumentar el valor de la población, para mejorar el comportamiento de media de la población, y preservar la variación dentro de ella, dando como resultado que los mejores individuos puedan superar los parentales. Estos individuos se pueden utilizar como cultivares, o como progenitores de híbridos.

3.2.6 Análisis de componentes principales

En el análisis de componentes principales de las variables biométricas de crecimiento de palma americana de aceite los cuatro primeros componentes explicaron el 98,6% de la variabilidad observada de acuerdo con la **Tabla 3-12**. Los autovalores de cada carácter morfológico, obtenidos del análisis de componentes principales para los caracteres morfológicos de palma americana de aceite **Tabla 3-12**, así como la proporción de varianza que explican, tanto de forma individual como acumulada. Los componentes que presenten valores que expliquen el 70% o más de la varianza total (Palacio et al. 2020). Kaiser (1960) genero un criterio para la selección de los componentes que poseen autovalores superiores a 1, de manera general en el análisis se seleccionaron 2 componentes principales y la varianza acumulada de estos, explica el 94,9% de la variación existente.

Tabla 3-12: *Estimaciones de varianza asociados a siete componentes principales con su respectivo aporte a la variabilidad*

Componente principal	Autovalor	Diferencia	Porcentaje de variación explicada	Porcentaje acumulado
1	11,49	9,69	82,1%	82,1%
2	1,80	1,48	12,8%	94,9%

De acuerdo con la **Tabla 3-13** de Contribución de las variables a los componentes principales, se encontró que para el primer Componente principal las variables **Altura, diámetro del tallo, numero, largo y ancho de foliolos, largo raquis, largo de peciolo, largo de hoja, área de la hoja 9, área foliar por palma e índice de área foliar** realizan igual aporte a los autovectores seleccionados. En el segundo Componente principal las variables **área de la sección del peciolo y peso seco de la hoja** son las que más contribuyen a los autovectores seleccionados. Se encontró que los componentes de mayor aporte al análisis son **Altura, diámetro del tallo, numero, largo y ancho de foliolos, largo raquis, largo de peciolo, largo de hoja, numero de hojas, área de la hoja 9, área foliar por palma e índice de área foliar**. Estas seis variables pueden utilizarse para discriminar el crecimiento de las plantas de diferentes procedencias, debido a su poder discriminante. Brito et al. 2006 en evaluación realizada en 17 progenies de palma africana encontró que el área foliar es un carácter de alta contribución a la separación de los grupos según agrupación jerárquica los promedios no ponderados (UPGMA).

Tabla 3-13: Contribución de las variables a los Componentes principales

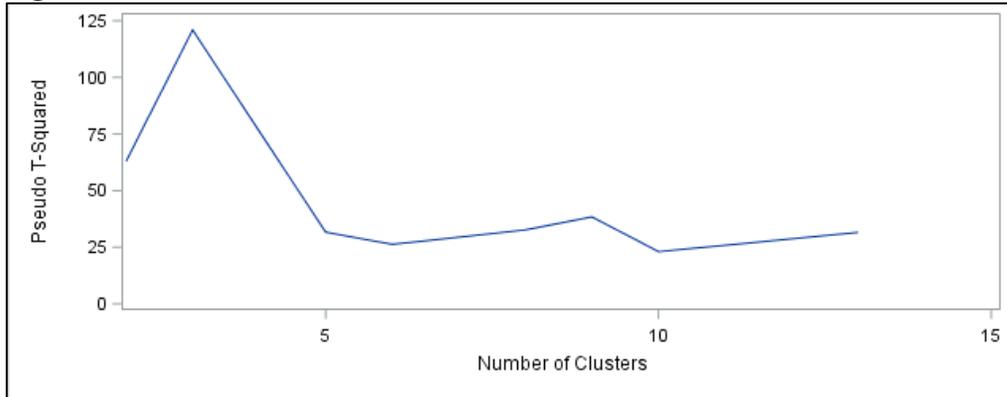
	Autovectores	
	Cp1	Cp2
AP	0,29	-0,05
DT	0,29	-0,05
NF	0,29	-0,02
LF	0,29	-0,03
AF	0,28	-0,07
LR	0,29	-0,04
LP	0,28	-0,05
ASP	0,10	0,70
PSH	0,10	0,70
LH	0,29	-0,04
NH	0,25	-0,05
AH9	0,29	-0,03
AFP	0,29	-0,03
IAF	0,29	-0,03

Nota: CP= Componente Principal; Altura de planta (AP); Diámetro del tallo (DT); Numero de foliolos (NF) Largo del raquis de la hoja (LR); Largo del peciolo (LP); Área de la sección del peciolo (ASP); Peso seco de la hoja (PSH9); Largo de la hoja (LH); Número de hojas por palma (NHP); Área de la hoja (AH9); Área foliar por palma (AFP); Crecimiento Área foliar por palma; Índice de área foliar (IAF); Relación de área foliar (RAF)

La línea Pseudo T2 es indicativo del número de grupos a elegir **Figura 3-3**, este parámetro sugirió que la agrupación se produjo en tres, siete y once agrupaciones. Esto se interpreta

mirando el gráfico de derecha a izquierda. El pseudo-t2 determinó que los datos podrían agruparse de manera óptima en cuatro grupos (grupos de fenotipos).

Figura 3-3: Pseudo t determinación del número de cluster



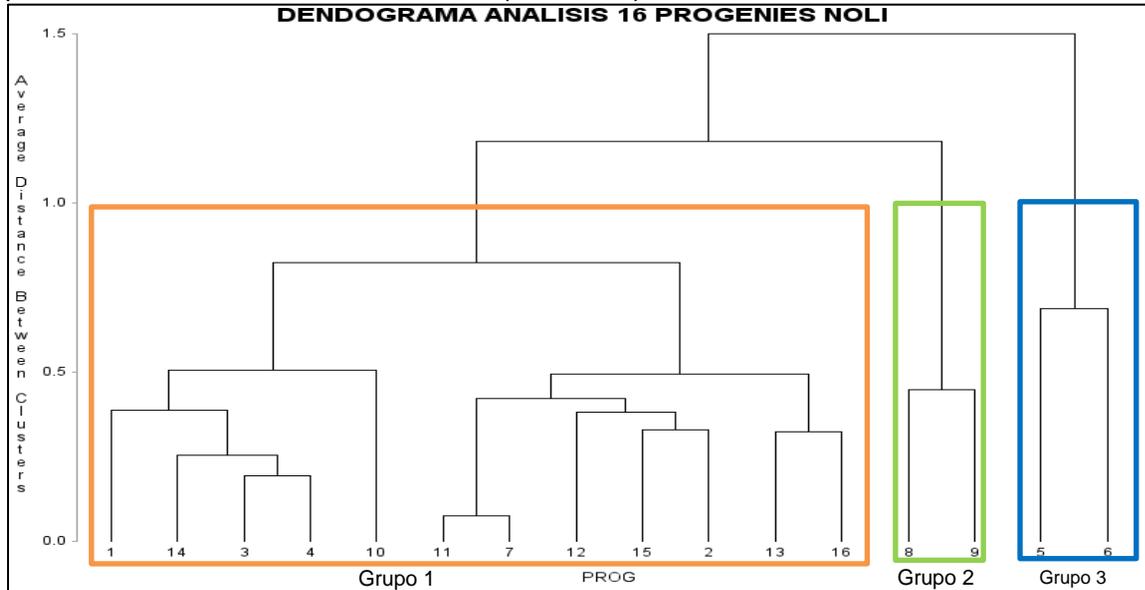
El Dendograma representa ordenación jerárquica de cada una de las 16 progenies S1 con respecto a las otras, se formaron tres grupos según caracteres vegetativos (**Figura 3-4** y **Tabla 3-14**). El Grupo 1: está integrado por nueve progenies, 1, 14,3, 4, 10, 11, 7, 12, 15, 2, 13 y 16 representan el 75 % de la población. Estas progenies se caracterizan por presentar el tamaño intermedio en altura, diámetro del tallo, área foliar y el 100% corresponde a progenies del padre 1 y padre 4 y 75% a progenies del padre 3 y el otro 25% al cruce 7X2.

Tabla 3-14: Promedios grupos de progenies de la colección de trabajo de palma americana Sinú de Agrosavia en etapa juvenil de campo.

grupo	AP	DT	NF	LF	AF	LR	LP	ASP	PSH	LH	NH	AH9	AFP	IAF
1	31,7	36,4	112,6	59,1	4,5	185,6	91,5	7,9	1,0	2,8	17,5	2,2	45,3	0,5
2	36,6	39,9	127,4	68,2	4,7	210,4	96,8	8,5	1,1	3,1	19,0	2,9	66,3	0,8
3	29,3	30,1	95,3	50,5	4,5	154,1	78,1	4,1	0,6	2,3	17,3	1,7	37,6	0,4
media	32,5	35,5	111,8	59,3	4,6	183,4	88,8	6,8	0,9	2,7	17,9	2,3	49,7	0,6

Nota: Elaborado por autor

Figura 3-4: Agrupamiento de los materiales *E. oleifera* en fase juvenil de campo basado en el análisis de componentes principales; la distancia utilizada es la Media aritmética no ponderada- UPGMA. Tumaco, Nariño (Colombia)



El Grupo 2: Está conformado por dos progenies 8 y 9 representan el 12.5% de la población. Este grupo se caracteriza por poseer plantas robustas tener el mayor diámetro del tallo y mayor tasa de crecimiento en altura de planta y mayor índice de área foliar. Correspondientes a cruces 8x2 y 9x 3. Grupo 3: Está conformado por dos progenies, 5 y 6; representan el 12.5% de la población. Este grupo se caracteriza por ser plantas menos vigorosas, se puede inferir que se presenta una menor expresión de vigor; presentan menor altura, menor largo del raquis y peciolo y menor área de la hoja 9. Corresponde a progenies del padre 2 las progenies provenientes del cruce 5x2 y 6x2 **Figura 3-4** y **Tabla 3-14**.

De manera general la búsqueda de la modificación del hábito de crecimiento en palma de aceite es uno de los intereses principales del uso de palma Noli en los programas de mejoramiento, una de las estrategias mencionadas anteriormente es un esquema de hibridación con el fin de explotar la σ^2D y las progenies que se ubican en los grupos 1 y 3

que son plantas de porte bajo y medio adicionalmente selección individual de plantas de menor porte en cada uno de estos grupos es una alternativa.

Conclusiones

- Los valores de la heredabilidad en sentido amplio (H^2) obtenidos con las estimaciones de los componentes de varianza estuvo en un rango de 62,03 para altura de planta a 97,09% número de foliolos para los 14 MDDSC; mientras que para la edad de 21 MDDSC la H^2 estuvo en un rango de 57,14% para número de hojas por planta a 93,44 % para número de foliolos; mientras que para la edad de 40 MDDSC la H^2 estuvo en un rango de 37,67 para el largo de raquis y 82,53% para largo del peciolo. Estos valores se consideran moderadamente altos y evidencian un alto control genético en la expresión de los caracteres y muestran el potencial para la obtención de ganancias por selección.
- La varianza genética para las 16 progenies de palma americana de aceite estuvo determinada principalmente por efectos de dominancia de los genes. Los efectos de dominancia fueron más importantes que los efectos aditivos en el control genético de los caracteres vegetativos para la población de estudio, esto implica la posibilidad de utilizar dichos genotipos en hibridación para aprovechar la varianza de dominancia en el mejoramiento genético de los caracteres de la planta.
- Las variables altamente correlacionadas en el primer componente principal y explicó la mayor parte de la variación AP; DT; NF; LF; AF; LR; LP; LH; AH9; AFP e IAF. Estas variables se pueden utilizarse como criterios para preselección de palma de aceite para características morfológicas en fase juvenil de campo.

Bibliografía

-
- Alvarado, A., Escobar, R., & Peralta, F. (2010). El programa de mejoramiento genético de palma aceitera de ASD Costa Rica y su contribución a la industria. *ASD Oil Palm Papers*, 35, 13-22.
- Arolu, I. W., Rafii, M. Y., Marjuni, M., Hanafi, M. M., Sulaiman, Z., Rahim, H. A., ... & Nookiah, R. (2017). Breeding of high yielding and dwarf oil palm planting materials using Deli durax Nigerian pisifera population. *Euphytica*, 213(7), 1-15.
- Bakoumé, C. & Louise, C. (2007). Breeding for oil yield and short oil palms in the second cycle of selection at La Dibamba (Cameroon). *Euphytica* 156, 195–202. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9366-x>
- Barcelos, E., Rios, S. D. A., Cunha, R. N., Lopes, R., Motoike, S. Y., Babiychuk, E., ... & Kushnir, S. (2015). Oil palm natural diversity and the potential for yield improvement. *Frontiers in plant science*, 6, 190.
- Barcelos, E., Amblard, P., Berthaud, J., and Seguin, M. (2002). Genetic diversity and relationship in American and African oil palm as revealed by RFLP and AFLP molecular markers. *Pesqui. Agropecu. Brasileira* 37, 1105–1114. doi: 10.1590/S0100-204X2002000800008
- Bastidas, S; Peña, E; Reyes, R. (2013). Preguntas sobre Palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq., Palma Nolí *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés y los híbridos interespecíficos Nolí x Palma de aceite (*E. oleifera* x *E. guineensis*). Bogotá: CORPOICA. 264 p.
- Bhagya, H. P., Mathur, R. K., Ravichandran, G., Ramajayam, D., Babu, B. K., Anitha, P., ... & Rahana, S. N. (2021). Identification and selection of elite oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) genotypes for utilisation in a breeding program. *Journal of Plantation Crops*, 49(3), 3.
- Breure, C. J. (2010). Rate of leaf expansion: a criterion for identifying oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) types suitable for planting at high densities. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 57(2), 141-147.

- Breure, C. J., & Corley, R. H. V. (1992). Fruiting activity, growth and yield of oil palm. II. Observations in untreated populations. *Experimental Agriculture*, 28(1), 111-121.
- Breure, C. J., y Verdooren, L. R. (1995). Guidelines for testing and selecting parent palms in oil palm, practical aspects, and statistical methods (No. 9). ASD de Costa Rica.
- Brito, O. L., Natera, J. R. M., & Maestre, R. B. (2006). Caracterización de variables de crecimiento de 17 progenies de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el estado Monagas, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 6(1), 33-40.
- Cadena, T., Prada, F., Perea, A., & Romero, H. M. (2013). Actividad de la lipasa, contenido de aceite en el mesocarpio e índice de yodo en frutos de palma de aceite *Elaeis guineensis*, *Elaeis oleifera* y el híbrido interespecífico OxG (*E. oleifera* x *E. guineensis*). *Revista Palmas*, 34(1), 49-61.
- Clement, C. R. (1999). 1492 and the loss of Amazonian crop genetic resources. I. The relation between domestication and human population decline. *Economic Botany*, 53(2), 188-202.
- Comstock R. E. and H. F. Robinson. (1948). The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the degree of dominance. *Biometrics* 4: 254-266.
- Comstock R. E. and H. F. Robinson. (1952). Estimation of average dominance of genes. In *heterosis*, Iowa State College press. Usa. pp. 494-516.
- Corley, R. H. V. (1973). Effects of plant density on growth and yield of oil palm. *Experimental Agriculture*, 9(2), 169-180.
- Corley R. H. V. & C. J. Breure, (1981). Measurements in oil palm experiments. 35 pp. Internal report. London, Unilever Plantation Group.
- Corley, R. H. V., y Tinker, P. B. (2015). The oil palm (Fifth edi., p. 674). Oxford: Blackwell Science Ltd. ISBN: 978-1-405-18939-2

-
- Cayón, D. G. (1999). Apuntes sobre fisiología del crecimiento y desarrollo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Revista Palmas*, 20(3), 43-54.
- Domiciano, G.P., Alves, A.A., Laviola, B.G., & Conceição, L.D. (2015). Parâmetros genéticos e diversidade em progênies de Macaúba com base em características morfológicas e fisiológicas. *Ciencia Rural*, 45, 1599-1605.
- Falconer, D. S. (1989). *Introduction to Quantitative Genetics*, Longman, New York.
- Forero, D., Hormaza, P., Moreno, L. & Ruiz, R. (2012). Generalidades sobre la morfología y fenología de la palma de aceite. Bogotá D. C. Colombia: Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma. 150 p.
- Gerritsma, W., & Soebagyo, F. X. (1999). An analysis of the growth of leaf area of oil palms in Indonesia. *Experimental Agriculture*, 35(3), 293-308.
- Hallauer, A. R. & J. B. Miranda, F. (1981). *Quantitative genetics in maize breeding*. First edition. Iowa State Univ. Press, Ames. 468 p
- Henson I. E. (2002). Oil palm pruning and relationships between leaf area and yield – a review of previous experiments. *The planter*, 78:351-362.
- Ibarra-Ruales, L. N.; Reyes-Cuesta, R. (2015). Crecimiento en vivero de las palmas aceiteras *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* y *Elaeis guineensis* x *Elaeis guineensis* en Tumaco Colombia. *Revista Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.*, Mosquera (Colombia), 16(2): 239-250. ISSN 0122-8706 julio - diciembre / 2015.
- Jacquemard JC, Meunier J, Bonnot F. (1981). Etude génétique de la reproduction d'un croisement chez le palmier à huile *Elaeis guineensis*: Application à la production de semences sélectionnées et à l'amélioration. *Oléagineux*, 36(7): 343-349.
- Kaiser, H. F. (1960). "The Application of Electronic Computers to Factor Analysis", *Educational and Psychological Measurement*, 20(1): 141-151.
- Marhalil, M., Zulkifli, Y., Kushairi, A., Adura, Z. S., Nurniwalis, A., & Zubaidah, R. (2020). Potential oil palm genetic materials derived from introgression of germplasm

- (MPOB-Nigeria, MPOB-Zaire, and MPOB-Cameroon accessions) to advanced (AVROS) breeding populations. *J. Oil Palm Res*, 32, 569-581.
- Meunier J., J.L. Renard et G. Quillec (1979). Hérité de la résistance à la fusariose chez le palmier à huile *E. guineensis* Jacq. *Oléagineux*, 34 (12), 555 - 561.
- Meunier, J. (1975). Le palmier à huile américain *Elaeis melanococca*. *Oléagineux* 30, 51–61.
- Morcote-Rios, G., & Bernal, R. (2001). Remains of palms (Palmae) at archaeological sites in the New World: a review. *The botanical review*, 67(3), 309-350.
- Noh, A., Rafii, M. Y., Saleh, G., Kushairi, A., & Latif, M. A. (2012). Genetic performance and general combining ability of oil palm Deli dura x AVROS pisifera tested on inland soils. *The Scientific World Journal*, 2012. 8p. <https://doi.org/10.1100/2012/792601>.
- Ooi, S. C., DA Silva, E. B., Müller, A. A., y Nascimento, J. C. (1981). Recursos genéticos de dendê-populações nativas de *Elaeis oleifera* do Brasil se constituem numa fonte promissora. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 16(3), 385-395.
- Okoye, M. N., Okwuagwu, C. O., & Uguru, M. I. (2009). Population improvement for fresh fruit bunch yield and yield components in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *American-Eurasian Journal of Scientific Research*, 4(2), 59-63.
- Okwuagwu, C. O., Okoye, M. N., Okolo, E. C., Ataga, C. D., & Uguru, M. I. (2008). Genetic variability of fresh fruit bunch yield in Deli/dura x tenera breeding populations of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Nigeria. *Journal of Tropical Agriculture*, 46, 52-57.
- Ortega Cedillo, D., Barrera, C. F., Ortega Cedillo, J., Orellana Carrera, J., Vilela de Resende, M. D., & Damião Cruz, C. (2018). Estimates of parameters, prediction and selection of an oil palm population in Ecuador. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 71(2), 8477-8487.
- Pallas, B., Mialet-Serra, I., Rouan, L., Clément-Vidal, A., Caliman, J. P., & Dingkuhn, M. (2013). Effect of source/sink ratios on yield components, growth dynamics and

- structural characteristics of oil palm (*Elaeis guineensis*) bunches. Tree physiology, 33(4), 409-424.
- Rafii, M.Y., Rajanaidu, N., Jalani, B. S. and Zakri, A.H. (2001). Genotype x environment interaction and stability analyses in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) progenies over six locations. J. Oil Palm Res. 13: 11-41.
- Rafii, M.Y.; Isa, Z.A.; Kushairi, A.; Saleh, G.B.; Latif, M.A. (2013). Variation in yield components and vegetative traits in Malaysian oil palm (*Elaeis guineensis* jacq.) dura x pisífera hybrids under various planting densities. Ind. Crop. Prod. 2013, 46, 147–157.
- Rey, L., Gómez, P. L., Ayala, I. M., Delgado, W., & Rocha, P. J. (2004). Colecciones genéticas de palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq. Y *Elaeis oleifera* (HBK) de Cenipalma: características de importancia para el sector palmicultor. *Revista Palmas*, 25(especial,), 39-48.
- Reyes, C.R.; Rodríguez, H.N.; Peña, R.E.; Bastidas, P.S. (2008). Crecimiento en vivero de materiales comerciales de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Tumaco, Colombia. *Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 9(2): 12-18. ISSN 0122-8706. Biblioteca Agropecuaria de Colombia, Mosquera. Colombia.
- Reyes, R.; Riaño, N.; Chinchilla, C.; Ibarra, N. (2013a). Physiological response of Young oil palms (*Elaeis guineensis*) to soil drying by evapotranspiration in two soil types under greenhouse conditions and possible implications for spear rot development. *Oil Palm Papers (Costa Rica)*, 40: 1-15.
- Reyes, R.; Riaño, N.; Chinchilla, C.; Ibarra, N. (2013b). Physiological response of young oil palms (*Elaeis guineensis*) to a steady water supply under greenhouse conditions. *Revista Oil Palm Papers (Costa Rica)*, 41:1-11.
- Reyes, R.; Riaño, N.; Chinchilla, C.; Ibarra, N. (2014). Physiological response of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) to soil water availability under field conditions in Tumaco, Colombia. *Revista Oil Palm Papers (Costa Rica)*, 42:11-20.

- Richardson, D. (1995). La historia del mejoramiento genético de la palma aceitera en la compañía United Fruit en América. *ASD Oil Palm Papers*, 11, 1-22.
- Sapey, E., Adusei-Fosu, K., Agyei-Dwarko, D., & Okyere-Boateng, G. (2012). Collection of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) germplasm in the northern regions of Ghana. *Asian J Agric Sci*, 4(5), 325-328.
- Sapey, E., Adusei-Fosu, K., Darkwah, D. O., & Agyei-Dwarko, D. (2017). Multivariate analysis of bunch yield and vegetative traits of oil palm germplasm conserved at Oil Palm Research Institute (OPRI)-Ghana. *International Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 4, 231-236.
- SAS® (Statistical Analysis Institute Inc). (2013). *Statistical Analysis Systems 9.4 for Windows Standard version users Guide*.
- Silva-Díaz, R., García-Mendoza, P., Faleiro-Silva, D., & de Souza, C. L. (2018). Determinación de componentes de la varianza y parámetros genéticos en una población segregante de maíz tropical. *Bioagro*, 30(1), 67-77.
- Squire, G. R., & Corley, R. H. V. (1987). Oil palm. *Tree crop physiology*, 141-167.
- Tchounke, B., Sanchez, L., Bell, J. M., & Cros, D. (2022). Mate selection: a useful approach to maximize genetic gain and control inbreeding in genomic and conventional oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) hybrid breeding. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2022.06.10.495594>
- Woittiez, L. S., van Wijk, M. T., Slingerland, M., van Noordwijk, M., & Giller, K. E. (2018). Brechas de rendimiento en el cultivo de palma de aceite: una revisión cuantitativa de factores determinantes (Carlos Arenas, trad.). *Palmas*, 39(1), 16-68.
- Wuidart W. & J.P. Gascon, (1975). Etude de la composition de l'huile d' *Elaeis guineensis* Jacq. Possibilités d'amélioration. *Oléagineux*, 30 (10), 401 - 408.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

- Se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) entre los genotipos de palma americana en las variables DT, LF, AF, LR, LP, AH9, AFP, IAF y RAF, para la interacción de machos dentro de hembras lo cual permite inferir que la población presenta variabilidad genética según los caracteres analizados y que existe un comportamiento diferencial del cruce de machos con hembras, es posible con las poblaciones realizar el proceso de selección de progenies e individuos promisorios dentro de progenies para los caracteres morfológicos vegetativos.
- En las estimaciones de heredabilidad en sentido amplio se encontraron altos valores $>62\%$, observándose los mayores valores para las variables emisión de hojas, diámetro del tallo, largo y ancho del foliolo, favorecido por la acción del ambiente para el adecuado desarrollo de los caracteres. Esta información obtenida permitirá establecer estrategias adecuadas en el proceso de selección.
- Las variables altamente correlacionadas en el primer componente principal y explicó la mayor parte de la variación en fase de vivero fueron AP, DT, NF, LR, LH, AH4, AFP, IAF, mientras que, en fase juvenil de campo adicional a estas 8 variables, el LF; AF y LP realizaron aportes al primer componente. Estas variables se pueden utilizar como criterios para preselección de palma de aceite para características morfológicas en fase de vivero y juvenil de campo.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda continuar el proceso de evaluación de progenies de la colección de trabajo de palma americana *E. oleifera* de Agrosavia, con el fin de estimar los componentes de varianza sobre caracteres productivos y asociarlos con los caracteres vegetativos para determinar indicadores tempranos de selección. Así como para identificar parentales *Elaeis oleifera* que continúen contribuyendo al mejoramiento genético de la palma de aceite, debido a sus características morfológicas y de resistencia a enfermedades que no posee la palma *Elaeis guineensis*. Características transmitidas por la palma *Elaeis oleifera* a los híbridos OxG (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*), los cuales son a nivel mundial la única alternativa productiva y con tolerancia a la pudrición del cogollo (PC), principal limitante de la palma de aceite en América y que amenaza su cultivo en el mundo, por no tenerse otras alternativas tecnológicas para su manejo y control.

La sostenibilidad de los programas de mejora de palma de aceite depende, en gran parte, de la variabilidad de la población y la provisión de materiales de siembra mejorados. Los genes de poblaciones silvestres están siendo utilizados para mejorar la variación genética de las poblaciones actuales, proporcionando un alcance más amplio en fitomejoramiento y selección. Por ello la conservación y caracterización de la Palma americana de aceite o Noli son muy importantes, planta que se encuentra en peligro de extinción porque sus poblaciones se han reducido drásticamente en su hábitat natural.

A. Anexo: Variables fenotípicas a los 10 meses de establecidas en vivero de 24 progenies de palma *Elaeis oleifera* de la de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia CI El Mira, Tumaco-Nariño-Colombia (Colombia)

Progenie	EH		DT		AP		NH		NF		LF		AF		LR		LP	
	und		cm		cm		und		und		cm		cm		cm		cm	
	x±ds	cv	x±ds	cv	x±ds	cv	x±ds	cv	x±ds	Cv	x±ds	cv	x±ds	cv	x±ds	cv	x±ds	cv
1	3,4±0,5	14,7	4±0,4	10	11±1,7	15,5	5,6±0,5	8,9	13,8±4,2	30,4	22,7±2,2	9,7	1,2±0,2	16,7	19,2±1,9	9,9	5,9±1,1	18,6
2	3,3±0,7	21,2	4,62±1,2	26	15,7±6,6	42	5,5±0,7	12,7	21,3±10,4	48,8	24,1±2,9	12	1,5±0,4	26,7	28±12,4	44,3	8,4±4,2	50
3	3,8±0,9	23,7	6,43±0,4	6,2	19,5±2	10,3	8,7±0,9	10,3	15,9±2,5	15,7	32,9±3	9,1	1,8±0,2	11,1	27,6±5,1	18,5	8,6±1,1	12,8
4	5,5±0,9	16,4	4,35±0,4	9,2	18,9±1,8	9,5	9,1±1,5	16,5	10,4±3	28,8	31,1±2,1	6,8	1,7±0,2	11,8	24±3,2	13,3	13,9±1,2	8,6
5	6,3±0,9	14,3	4,67±0,5	10,7	16,4±2,4	14,6	9,2±1,2	13	16±2	12,5	28,9±2,2	7,6	1,9±0,2	10,5	23,2±2,2	9,5	7,1±1,1	15,5
6	2,5±0,5	20	5,14±0,7	13,6	13,3±2,4	18	7,4±1,4	18,9	13,9±2,9	20,9	25,6±2,4	9,4	1,7±0,3	17,6	20,7±4	19,3	9,5±1,9	20
7	5,6±1	17,9	4,64±0,5	10,8	19±3,4	17,9	10,6±1,4	13,2	19,8±3	15,2	31,2±3,7	11,9	1,8±0,3	16,7	25,7±2,6	10,1	7,3±1,8	24,7
8	3,2±0,8	25	4,05±0,4	9,9	12,2±2,3	18,9	5,6±0,8	14,3	13,3±3,5	26,3	22,9±2,1	9,2	1,3±0,2	15,4	18,6±2,7	14,5	5,8±1,1	19
9	3,3±0,9	27,3	3,88±0,5	12,9	12,5±2,1	16,8	5,6±0,7	12,5	14,3±7,4	51,7	24,7±2,2	8,9	1,2±0,5	41,7	21,5±4,4	20,5	6,6±1,2	18,2
10	2,6±0,8	30,8	5±0,9	18	14,5±2,3	15,9	6,5±0,9	13,8	14,7±3,1	21,1	24,8±1,2	4,8	1,6±0,2	12,5	22,4±3,8	17	9,1±2,3	25,3
11	4,9±1,2	24,5	5,52±0,9	16,3	18,7±3,2	17,1	8,4±1,6	19	17,4±3,6	20,7	29±2,5	8,6	1,9±0,5	26,3	26±4,7	18,1	6,1±1,1	18
12	3,9±1,1	28,2	5,78±0,9	15,6	19,6±5,4	27,6	7,9±1,2	15,2	23,8±6,3	26,5	26,9±2,6	9,7	2±0,5	25	28,7±5,6	19,5	10,5±2,9	27,6
13	4,3±1,5	34,9	5,54±1,1	19,9	17,4±4,4	25,3	7,8±1,6	20,5	18,5±4,4	23,8	30,7±2	6,5	1,9±0,1	5,3	27,2±3,8	14	8,3±3,1	37,3
14	6,1±1,1	18	4,73±0,7	14,8	17,6±2,4	13,6	9±1	11,1	16,6±4,1	24,7	27,8±2,3	8,3	1,8±0,3	16,7	23±3,6	15,7	6,8±0,9	13,2
15	5,4±1,1	20,4	4,36±0,5	11,5	15,2±2,2	14,5	9,6±1,4	14,6	12,2±2,6	21,3	31,3±2,9	9,3	1,9±0,2	10,5	24,9±3,3	13,3	11±1,7	15,5
16	4,2±1,9	45,2	5,41±1,1	20,3	16,9±4,9	29	8,1±2,3	28,4	17,4±7,4	42,5	27,6±3,5	12,7	1,8±0,4	22,2	27,5±8,1	29,5	9,2±1,8	19,6
17	3,3±0,8	24,2	4,07±0,4	9,8	12,1±2,8	23,1	6,3±1,1	17,5	17,1±8,3	48,5	26,1±3,1	11,9	1,5±0,6	40	24,8±9,5	38,3	6,9±3,4	49,3
18	4,6±1,6	34,8	4,71±0,9	19,1	14,9±4,3	28,9	7,2±1,5	20,8	16,7±4,9	29,3	27,5±4	14,5	1,6±0,4	25	22,3±5,4	24,2	8±2,9	36,3
19	4,1±0,6	14,6	4,32±0,7	16,2	14,3±3	21	7,3±0,7	9,6	13,5±4,9	36,3	23,4±2,5	10,7	1,3±0,2	15,4	21,7±3,6	16,6	6,6±1,3	19,7
20	5,9±1,2	20,3	6,07±1	16,5	21,7±4	18,4	10,2±1,5	14,7	21,3±5,3	24,9	29,7±2,4	8,1	2,3±0,5	21,7	25,5±4,6	18	8,5±2,6	30,6
21	5,8±1,2	20,7	4,5±0,5	11,1	16,3±1,5	9,2	8,1±0,9	11,1	16,8±2	11,9	27,6±3,9	14,1	1,8±0,3	16,7	21,2±3,3	15,6	7,7±1,6	20,8
22	3±1	33,3	4,8±0,6	12,5	14,1±3	21,3	7,7±1,7	22,1	12,7±4,1	32,3	25,8±2,6	10,1	1,6±0,3	18,8	20,4±3,9	19,1	10,4±2,9	27,9
23	6±1,1	18,3	4,69±0,3	6,4	15,9±1,8	11,3	8,7±1	11,5	16,9±2	11,8	30,6±3,1	10,1	1,8±0,2	11,1	24,6±3,9	15,9	6,9±1,1	15,9
24	6,3±0,6	9,5	4,62±0,5	10,8	16,5±2,5	15,2	11,4±1,5	13,2	11,6±2,7	23,3	29±2,6	9	1,6±0,2	12,5	21,8±3,1	14,2	13±1,8	13,8
Media	4,7±1,6	34	4,93±1	20,3	16,6±4,1	24,7	8,5±2	23,5	16,2±5,5	34	28,2±3,9	13,8	1,7±0,4	23,5	24±5,3	22,1	8,7±2,9	33,3

X=promedio. DS= desviación estándar. C.V.= coeficiente de variación EH= Emisión de hojas DT=Diámetro del tallo; AP= Altura planta; NH= Numero de hojas; LF= Largo de foliolos; AF= Ancho de foliolos; LR = largo del Raquis; LP= Largo del Pecíolo

B. Anexo: Variables fenotípicas a los 12 meses de establecidas en vivero de 24 progenies de palma *Elaeis oleifera* de la de la colección de trabajo de palma americana de Agrosavia CI El Mira, Tumaco-Nariño-Colombia (Colombia)

progenie	EH		DT		AP		HT		NF		LF		AF		LR		LP	
	und		cm		cm		und		und		cm		cm		cm		cm	
	x±ds	cv	x±ds	cv	x±ds	cv	x±ds	cv	x±ds	Cv	x±ds	cv	x±ds	cv	x±ds	cv	x±ds	cv
1	4,4±1	22,7	7,06±1,3	18,4	25,6±6	23,4	7,8±1	12,8	33,1±6,8	20,5	29,5±3,5	11,9	2,7±0,4	14,8	38,5±10,8	28,1	12,6±3,8	30,2
2	4,1±1,2	29,3	7,14±1,3	18,2	26,5±7	26,4	7,4±1,3	17,6	34,4±9,3	27	29,7±3,7	12,5	2,7±0,4	14,8	39,3±9,9	25,2	13,1±3,8	29
3	4,3±0,9	20,9	7,49±0,4	5,3	28,4±4	14,1	10,3±1,6	15,5	31±2,2	7,1	35,6±2,6	7,3	2,4±0,3	12,5	39,9±4,5	11,3	16,7±2,9	17,4
4	3±0,4	13,3	6,68±0,7	10,5	22,4±2,9	12,9	5,7±0,7	12,3	19,6±3,1	15,8	35,9±2,8	7,8	2,1±0,3	14,3	32,9±4,6	14	10,4±1,7	16,3
5	3,9±1,3	33,3	6,52±0,5	7,7	21,2±2,9	13,7	6,9±1,2	17,4	19,9±3,3	16,6	31±3,1	10	2,1±0,3	14,3	31,9±5,4	16,9	10±2,4	24
6	5,2±1,2	23,1	6,06±1,1	18,2	19,8±5,1	25,8	9,5±1,6	16,8	23,3±5,8	24,9	25,7±2,9	11,3	2,4±1	41,7	23±5,4	23,5	11,3±4,6	40,7
7	3,9±0,9	23,1	6,45±0,8	12,4	23,3±2,9	12,4	8±1,1	13,8	24,7±3,5	14,2	32,4±3	9,3	2±0,3	15	34,7±4,7	13,5	8,5±1,4	16,5
8	4,3±0,8	18,6	6,9±1	14,5	24,2±4,9	20,2	7,5±0,9	12	33,5±5,6	16,7	29,1±2,2	7,6	2,7±0,3	11,1	38,7±8,1	20,9	12,3±2,9	23,6
9	4,3±0,8	18,6	7,54±1	13,3	29,7±4	13,5	7,6±1	13,2	38,8±4,5	11,6	31,9±2,2	6,9	2,6±0,2	7,7	41,7±10,8	25,9	15,3±5,3	34,6
10	5,8±1,7	29,3	5,83±1,7	29,2	22,4±5,6	25	9,7±2	20,6	22,4±6	26,8	27,4±3,7	13,5	2,1±0,6	28,6	26,1±6,2	23,8	8±2,1	26,3
11	4,9±1,2	24,5	6,96±1,1	15,8	25±4,7	18,8	9,7±1,8	18,6	28,7±5,9	20,6	31,9±2,5	7,8	2,4±0,4	16,7	31,8±5,4	17	9,3±3,5	37,6
12	4,6±1,8	39,1	6,04±1,1	18,2	23,5±4,7	20	8,6±2,3	26,7	30,7±6,1	19,9	28,3±2,1	7,4	2,4±0,4	16,7	30,9±5,5	17,8	12,4±5,5	44,4
13	5,8±0,8	13,8	5,93±0,9	15,2	20,3±3,9	19,2	9,6±1,2	12,5	22,2±4,7	21,2	30±2,7	9	2±0,2	10	31,9±5,2	16,3	9,2±2	21,7
14	3,7±0,8	21,6	6,31±1,1	17,4	20,9±4,6	22	7,1±1,5	21,1	19,7±6,3	32	28,2±4,2	14,9	1,9±0,3	15,8	29,4±5,6	19	7,5±1,4	18,7
15	3,6±1	27,8	6,44±0,7	10,9	19,7±3,2	16,2	8,6±1,2	14	19,8±3,7	18,7	31,3±2,4	7,7	2±0,2	10	34,5±3,8	11	8,1±1,5	18,5
16	4,8±0,8	16,7	5,11±0,9	17,6	20,5±3,5	17,1	8±1,3	16,3	22,5±4,6	20,4	26,4±2,5	9,5	1,9±0,4	21,1	25±4,5	18	9,7±3,7	38,1
17	4,8±0,9	18,8	7,87±0,7	8,9	27,7±3,8	13,7	10,1±1,5	14,9	33,5±4,9	14,6	33,6±4,2	12,5	2,5±0,5	20	41,2±5,7	13,8	15,1±2,5	16,6
18	3,5±0,5	14,3	5,77±1	17,3	17,5±3,9	22,3	5,9±0,8	13,6	17,2±3,5	20,3	32,5±4,2	12,9	2,1±0,7	33,3	27±4,3	15,9	7,9±1,5	19
19	4,9±1,7	34,7	8,01±1,5	18,7	30,6±6	19,6	10,4±2,9	27,9	35,3±5,2	14,7	32,2±3,2	9,9	3,1±0,3	9,7	44,2±6,1	13,8	14,7±3	20,4
20	4,2±0,9	21,4	7,11±0,9	12,7	24,2±5,3	21,9	10,7±2	18,7	31,4±4,1	13,1	29,4±4,5	15,3	2,7±0,4	14,8	32,3±5	15,5	8,7±2,5	28,7
21	3,6±0,9	25	6,52±0,7	10,7	19,1±3,6	18,8	5,9±0,8	13,6	18,4±2,9	15,8	31,7±3,3	10,4	2±0,8	40	27,7±3,3	11,9	8,4±1,3	15,5
22	3,9±1,4	35,9	6,28±1,2	19,1	19,4±5,3	27,3	8,4±2,2	26,2	21,3±9	42,3	26±2,1	8,1	2,1±0,5	23,8	26,5±8,8	33,2	12±3,7	30,8
23	3,1±0,5	16,1	6,71±0,9	13,4	20,3±2	9,9	7,4±1,4	18,9	18,1±3	16,6	31,6±3,4	10,8	2,4±0,9	37,5	32,1±3,5	10,9	8,3±1,1	13,3
24	3,6±1,1	30,6	6,97±0,8	11,5	21,9±4,6	21	6,7±1,5	22,4	20,3±3,8	18,7	33,4±3,7	11,1	2,2±0,4	18,2	32,4±5,3	16,4	9±2,8	31,1
Media	4,2±1,3	31	6,65±1,2	18	22,9±5,5	24	8,2±2,1	25,6	25,3±7,9	31,2	30,7±4,1	13,4	2,3±0,8	34,8	33±8	24,2	10,5±3,8	36,2

NOTA: x=promedio. ds= desviación estándar. c.v.= coeficiente de variación. EH= Emisión de hojas DT=Diámetro del tallo; AP= Altura planta; NH= Numero de hojas; LF= Largo de foliolos; AF= Ancho de foliolos; LR = largo del Raquis; LP= Largo del Pecíolo

C. Anexo: Correlaciones entre variables en etapa vivero para las variables Altura Vs Diámetro de tallo, Altura Vs Numero de foliolos y Altura Vs Largo del Raquis.

