

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA



Caracterización fenotípica de rasgos florales y seminales de *Elaeis oleifera* de la colección biológica establecida en Campo Experimental Palmar de la Vizcaína

Karen Andrea Torres Ortega

Programa de Ingeniería Agronómica

2024

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA



**Caracterización fenotípica de rasgos florales y seminales de *Elaeis oleifera* de la colección
biológica establecida en Campo Experimental Palmar de la Vizcaína**

Trabajo de grado bajo la modalidad de Pasantía Investigativa presentado como requisito para
optar el título de Ingeniero Agrónomo

Karen Andrea Torres Ortega 1007329461

MSc. Javier Francisco Castellanos Martínez

Director Académico Universidad de Pamplona

Iván Mauricio Ayala Díaz. IA. *PhD*.

Tutor Empresarial

Stephany Guataquira García. Bióloga.

Cotutora Empresarial

Programa de Ingeniería Agronómica

Universidad de Pamplona

2024

Dedicatoria

A mi familia, el pilar más fuerte en cada paso de este camino. A mi mamá, Lorena Ortega Yáñez, y a mi papá, Edgar Humberto Torres Rubio, por su apoyo incondicional, por estar siempre presente, brindándome las herramientas y la fuerza para seguir adelante. Gracias por creer en mí, por el esfuerzo que hicieron para que este sueño se hiciera realidad, y por recordarme siempre que los logros se construyen con dedicación y amor. A mi hermano, Jaider Torres Ortega, por ser una fuente constante de ánimo y compañerismo, y por su confianza en mí durante todo este trayecto. Y a Gio, quien, aunque ha sido parte de mi vida por poco tiempo, me ha brindado un apoyo invaluable. Tus palabras de aliento y la manera en que me recuerdas mis capacidades han sido fundamentales para alcanzar este logro.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

Agradecimientos

Primero, agradezco a Dios por darme la fuerza y la oportunidad de llegar hasta aquí, a punto de recibir mi título como Ingeniera agrónoma, uno de los logros más importantes de mi vida, y por guiarme en este camino que apenas comienza.

A la universidad de Pamplona y a los docentes de esta, quienes han sido parte esencial en mi formación profesional, por su dedicación y compromiso a lo largo de estos años. En especial, agradezco a mi tutor, Javier Castellanos, por su constante guía y por estar pendiente de mi trabajo, brindándome el apoyo necesario para avanzar en este proceso.

A Cenipalma, por darme la oportunidad de realizar mi pasantía investigativa en sus instalaciones y a cada uno de sus colaboradores, gracias por compartir su experiencia y conocimientos, fundamentales para la realización de este trabajo. A Stephany Guataquira, gracias por estar al pendiente de mí durante el desarrollo de la investigación y por el apoyo constante

A mi familia, por ser mi mayor fuente de fortaleza y apoyo. A mis amigos, Alisson Parada, Ana Santos, Kevin Morineli, y a mi novio Gio, por los momentos llenos de alegría y por hacer de esta etapa una experiencia inolvidable. Su apoyo y compañía han sido fundamentales para llegar hasta aquí.

Tabla de contenido

1. Introducción
2. Problema
 - 2.1 Planteamiento del problema
 - 2.2 Justificación
3. Objetivos
 - 3.1 Objetivo general
 - 3.2 Objetivos específicos
4. Marco Teórico
 - 4.1 Antecedentes
 - 4.2. Marco contextual
 - 4.2.1. Descripción de la entidad:
 - 4.2.2. Generalidades
 - 4.2.3. Bases conceptuales
 - 4.2.4. Inflorescencia femenina
 - 4.2.4.1. Flores
 - 4.2.4.2. Antesis
 - 4.2.4.3. fruto
 - 4.2.4.4. Semilla
 - 4.3. Marco legal
 - 4.3.1. Trabajo de grado
 - 4.3.2. Artículo 35
 - 4.3.3. Artículo 36
5. Metodología

- 5.1. Sitio de estudio
- 5.2. Material vegetal
- 5.3. Diseño de muestreo
- 5.4. Método y herramientas de medición Variables consideradas
- 5.5. Análisis estadístico
- 6. Resultados y discusión
 - 6.1. Caracterización floral
 - 6.2. Caracterización rasgos seminales
 - 6.3. Discusión
- 7. Conclusiones
- 8. Recomendaciones
- 9. Bibliografía

Lista de tablas

Tabla 1. clasificación Taxonómica de *Elaeis oleifera*. Fuente: Moreno *et al*, 2015

Tabla 2. Numero de flores promedio por inflorescencias. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Longitud de raquilas entre *E. oleifera* (Perú-Brasil) y *E. guineensis*. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Tamaño promedio de flores medidas individualmente en las inflorescencias femeninas de la especie *E. oleifera* (Origen Brasil, Perú) y *E. guineensis*. Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Longitud del ovario de flores (mm) de las especies *E. oleifera* (Origen Brasil, Perú) y *E. guineensis*. Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Comparación del peso de frutos registrados en gramos, 225 frutos en total por especie (*E. oleifera* y *E. guineensis*). Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Comparación del área de frutos registrados en centímetros cuadrados, 225 frutos en total por especie *E. oleifera* y *E. guineensis*. Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Comparación de las Áreas Promedio y Variabilidad en Partes del fruto de *Elaeis oleifera* (Brasil y Perú) y *Elaeis guineensis* en cortes longitudinales. Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. Comparación de las Áreas Promedio y Variabilidad en Partes del fruto de *Elaeis oleifera* (Brasil y Perú) y *Elaeis guineensis* en cortes trasversales. Fuente: elaboración propia.

Lista de figuras

Figura 1. Inflorescencias femeninas en antesis estado fenológico de *Elaeis guineensis* (a) y el híbrido interespecífico O×G (b). Fotos: Forero *et al.*, 2012.

Figura 2. Estructura del fruto de palma de aceite (*Elaeis Oleifera* y *Elaeis guineensis*) observado en corte transversal. Tipos de frutos según es cuesco: a) tenera; b) dura; c) pisifera; d) partenocárpico. Elaboración propia

Figura 3. Semilla de la palma de aceite. a) vista externa semilla de palma de aceite, b) almendra, c) endospermo y embrión, d) embrión aislado.

Figura 4. Vista satelital, campo experimental Palmar de la Vizcaína

Figura 5. Inflorescencia femenina en antesis (estado BBCH 607). a) *Elaeis oleifera* y b) *Elaeis guineensis*.

Figura 6. Fruto de *Elaeis oleifera*. a) corte longitudinal, b) corte transversal

Figura 7. a) Inflorescencia de *E. oleifera* en antesis. b) flores individualizadas y c) raquillas. Elaboración propia.

Figura 8. proceso frutos; a) cuarto de racimo a desfrutar, b) frutos seleccionados, c) frutos escaneados. d) medicion a traves de image J. Elaboracion propia.

Figura 9. Número de flores por inflorescencia, en tres repeticiones de *E. oleifera* y *E. guineensis*. Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Número de raquillas totales por inflorescencia en tres repeticiones de *E. oleifera* y *E. guineensis*. Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Flores contadas en 30 raquillas de inflorescencias de *E. oleifera* y *E. guineensis*. Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Dimensión del ovario de flores de las especies *E. oleifera* (Origen Brasil, Perú) y *E. guineensis* en términos de longitud y ancho (mm). Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Relación entre peso y área de fruto de palma de aceite (*Elaeis oleifera* y *Elaeis guineensis*) en corte longitudinal. Fuente: elaboración propia.

Resumen

Se llevó a cabo la caracterización fenotípica de los rasgos florales y seminales de palma de aceite americana *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortes, de ecotipos de Brasil y Perú y se comparó con las mismas características de palma de aceite africana *Elaeis guineensis* (Jacq.) para que sirvan como base de una futura estimación de potenciales techos productivos o máximos valores que los racimos de estas especies y su híbrido interespecífico pudiera alcanzar. Este trabajo se llevó a cabo en el Campo Experimental Palmar de la Vizcaína (Barrancabermeja, Santander) sobre inflorescencias femeninas y racimos de palmas de la colección biológica de *E. oleifera* de los ecotipos Brasil y Perú; de la especie utilizada como testigo *E. guineensis*. Con base en las variables medidas se observó que el ecotipo brasileño de *E. oleifera* tiende a presentar mayor cantidad de raquilas y por ende mayor número de flores por inflorescencia, lo que potencial podría aumentar la cantidad de frutos por racimo, en comparación con el ecotipo peruano y la especie *E. guineensis* (Jacq.) en general. Por su parte, los frutos de *E. guineensis* destacan por un mayor tamaño y peso, a los que siguen los frutos de *E. oleifera* del ecotipo Perú, mostró frutos de tamaño intermedio y homogéneo. El ecotipo brasileño de *E. oleifera* podría ofrecer gran densidad de frutos,. En conclusión, mientras que *E. guineensis* sobresale por el tamaño y peso de sus frutos, *E. oleifera* de Brasil muestra un alto potencial para incrementar la densidad de frutos en racimos, y *E. oleifera* de Perú ofrece frutos uniformes.

Palabras clave: Caracterización, Inflorescencias, Rasgos seminales

Abstract: The study phenotypically characterized floral and seed traits of *Elaeis oleifera* (Brazil and Peru ecotypes) compared to *Elaeis guineensis* to estimate potential productivity ceilings for these species and their hybrids. Conducted on a biological collection of *E. oleifera* and *E. guineensis*, the research showed that the Brazilian ecotype of *E. oleifera* had more spikelets and flowers per inflorescence, potentially increasing fruit density per bunch. *E. guineensis* stood out for its larger, heavier fruits, while the Peruvian ecotype of *E. oleifera* had intermediate, uniform fruits. Overall, *E. guineensis* excels in fruit size and weight, *E. oleifera* (Brazil) in fruit density, and *E. oleifera* (Peru) in uniformity.

Keywords: Characterization, Inflorescences, Seminal traits

1. Introducción

Elaeis oleifera, conocida como la palma de aceite americana, es una especie nativa de América tropical que se encuentra desde el norte de Sudamérica hasta Centroamérica, la cual no suele ser aprovechada comercialmente de la misma manera en que se aprovecha la palma de aceite africana *Elaeis guineensis*. No obstante, la palma de aceite americana *E. oleifera* tiene alta resistencia a la enfermedad más limitante para el cultivo de palma de aceite que es la Pudrición del Cogollo (PC) y logra hibridar con la palma de aceite africana por lo que se han desarrollado híbridos interespecíficos O×G (Sánchez & Vanegas, 2012). Estos híbridos cuyo parental femenino es la palma de aceite americana, heredan alta resistencia a la enfermedad de la PC, aunque requieren prácticas agronómicas más exigentes que el cultivo de palma africana como la polinización asistida o artificial, para lograr altas productividades (Montoya *et al.*, 2023).

En el contexto agrícola, Colombia se destaca como líder en la producción de aceite de palma en Latinoamérica y ocupa el cuarto lugar a nivel mundial. En agosto de 2023, la producción de aceite de palma en el país alcanzó 142.4 mil toneladas, un incremento del 10.9% respecto al año anterior (Fedepalma, 2023). A pesar del predominio del cultivo con palma africana *E. guineensis* en Colombia, los híbridos interespecíficos O×G han emergido como una alternativa prometedora debido a su mayor tolerancia a la enfermedad devastadora, conocida por pudrición de cogollo. (Sánchez, 2008). No obstante, estos híbridos enfrentan desafíos como inflorescencias anormales y baja viabilidad del polen, lo que afecta su productividad (Hormaza *et al.*, 2010). Adicionalmente se destaca la absoluta necesidad de implementar la polinización asistida, ya sea con polen o con la aplicación de ANA (Ácido Naftalenacético), que promueven la fructificación en condiciones donde la fertilidad natural del polen es limitada.

La polinización asistida ha demostrado ser fundamental para asegurar la producción eficiente en los híbridos O×G, mejorando el cuajado de frutos y, por ende, la productividad de

las plantaciones (Linares *et al.*, 2019). Además, la identificación del Punto Óptimo de Cosecha (POC) en los híbridos O×G es esencial para maximizar el rendimiento del aceite y asegurar su calidad. Estudios recientes sugieren que el manejo adecuado del POC, junto con la polinización asistida, puede aumentar significativamente la rentabilidad del cultivo (Cadena *et al.*, 2012; Moreno *et al.*, 2012).

El presente trabajo de investigación se centra en la caracterización fenotípica de rasgos florales y seminales de los parentales de *Elaeis oleifera* de la colección biológica establecida en el Campo Experimental Palmar de la Vizcaina de Cenipalma, para identificar parentales con características deseables, para el desarrollo de híbridos O×G más eficientes y competitivos (Portilla *et al.*, 2018; Sánchez & Vanegas, 2012).

2. Problema

2.1 Planteamiento del problema

En la actualidad se carece de una caracterización fenotípica detallada de los rasgos florales y seminales de la palma de aceite americana *E. oleifera* lo que no permite aprovechar plenamente sus capacidades genéticas en la eficiencia en la producción de híbridos, desde las madres o progenitoras femeninas.

Adicionalmente, el conocimiento insuficiente sobre la variabilidad fenotípica de *Elaeis oleifera* no solo frena su uso sostenible, sino que también afecta los esfuerzos de conservación de la biodiversidad en los ecosistemas tropicales donde esta palma es nativa. Sin una caracterización exhaustiva, es difícil maximizar el rendimiento de los cultivos y garantizar la sostenibilidad de esta especie en el largo plazo. Por lo tanto, fue imperativo realizar una caracterización fenotípica que permita optimizar tanto el rendimiento productivo como la resistencia del híbrido interespecífico frente a la pudrición de cogollo, contribuyendo al desarrollo de híbridos más competitivos y sostenibles.

2.2 Justificación

La caracterización fenotípica de los rasgos florales y seminales de *Elaeis oleifera* en la colección biológica del Campo Experimental Palmar de la Vizcaína, es fundamental en la medida en que cada flor es un fruto potencial y por ende se podrían a futuro estimar techos productivos que a su vez son potencialmente heredables a los híbridos interespecíficos O×G de palma de aceite que se usan actualmente en América como alternativa sanitaria en zonas con alta incidencia de la devastadora enfermedad de Pudrición de Cogollo (PC). Por tanto, representa una oportunidad estratégica para diversificar y mejorar la industria del aceite de palma en general.

El establecimiento de las características de los parentales y su mejoramiento, específicamente en este caso, el del parental femenino que representa la palma de aceite americana, tiene como objetivo en un futuro corto y mediano, un impacto directo en la generación de híbridos O×G que potencialmente generen oportunidades para los palmicultores, que a su vez puedan mejorar sus condiciones económicas en las zonas rurales y posicionar a Colombia de manera más competitiva en el mercado global de aceite de palma.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Caracterizar rasgos florales y seminales de palmas *Elaeis oleifera* de la colección biológica del Campo Experimental Palmar de la Vizcaína.

3.2 Objetivos específicos

Determinar las características fenotípicas y biométricas de inflorescencias femeninas de dos ecotipos de palma de aceite americana.

Establecer las características fenotípicas y morfométricas de las semillas y los frutos de racimos de cada ecotipo de palma de aceite americana.

4. Marco Teórico

4.1 Antecedentes

La caracterización de los rasgos florales y seminales de la especie y el género tienen un nivel de detalle botánico que para efectos biológicos cumplen adecuadamente con su función, no obstante, el potencial uso en la agroindustria de palma de aceite y del híbrido interespecífico O×G, requiere un nivel de detalle que permita establecer los límites de los potenciales parentales del híbrido. Sin embargo, las particularidades de los ecotipos y orígenes no se han especificado por lo que no hay registros previos de este tipo en el género o la especie. Sin embargo, Forero *et al*, 2012; en su libro, generalidades sobre la morfología y fenología de la palma; y Romero *et al*, 2023; en su libro, los híbridos interespecíficos O×G de palma de aceite, describen de manera general los estadios de desarrollo de la palma de aceite, proporcionando información valiosa para la construcción de este proyecto.

4.2. Marco contextual

4.2.1. Descripción de la entidad:

El Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma) es una entidad dedicada a la investigación, desarrollo y promoción del cultivo de palma de aceite en Colombia. Fundada en 1984, Cenipalma tiene como objetivo principal contribuir al desarrollo sostenible de la industria de la palma de aceite a través de la generación y transferencia de conocimiento científico y tecnológico.

Entre sus actividades principales se encuentran la investigación en mejoramiento genético, manejo agronómico, control de enfermedades y plagas, aspectos socioeconómicos y

ambientales relacionados con el cultivo de la palma de aceite. Además, Cenipalma brinda asesoramiento técnico a los productores, ofrece programas de capacitación y organiza eventos académicos y científicos para promover la actualización y el intercambio de conocimientos en el sector (Cenipalma, 2022)

Cenipalma cuenta con varios centros de investigación entre ellos, el Campo Experimental Palmar de la Vizcaína, en la que como anteriormente se ha mencionado se llevara a cabo una investigación que busca caracterizar rasgos florales y seminales, con el fin de establecer parámetros de referencia que se puedan usar en el mejoramiento genético de los híbridos interespecíficos O×G.

4.2.2. Generalidades

La familia Arecaceae, es llamada como palmas o palmeras, y contiene al género *Elaeis*, el cual está compuesto únicamente por dos especies: *Elaeis guineensis* (Jacq.), la palma africana y *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés, la palma americana. Pertenecen a las monocotiledóneas y ambas con monoicas. La clasificación de la palma de aceite se observa en la Tabla 1 con más detalle.

Tabla 1. clasificación Taxonómica de *Elaeis oleifera*. Fuente: Moreno *et al*, 2015

Clasificación Taxonómica de palma americana	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Arecales
Familia	Arecaceae
Género	<i>Elaeis</i>
Especie	<i>Oleifera</i>

4.2.3. Bases conceptuales

La palma de aceite *Elaeis guineensis* presenta inflorescencias femeninas y masculinas en la misma planta, en ciclos alternados cuya duración varía según las condiciones genéticas y ambientales (Corley, 1976). Las inflorescencias se desarrollan en las axilas de las hojas mientras la planta crece. El proceso de desarrollo de una inflorescencia tarda de dos a tres años, durante los cuales permanece cubierta por las hojas (Corley, 1976). La antesis de las inflorescencias femeninas ocurre entre la hoja 17 y la 20 y el desarrollo del racimo desde esta etapa hasta la madurez toma entre 4,5 y 6 meses. Los racimos maduros pueden alcanzar más de 50 cm de largo y 35 cm de ancho y están compuestos por tallos de espiguillas donde se insertan los frutos y espinas (Corley & Tinker, 2003).

4.2.4. Inflorescencia femenina

Desde el punto de vista morfológico, una inflorescencia es un sistema de ramificación monopodial que se desarrolla en la axila de una hoja. Está compuesta por un pedúnculo, que mide entre 20-30 cm en la inflorescencia femenina y alrededor de 40 cm o más en la masculina, siendo esta última más sobresaliente. Después del pedúnculo, se encuentra el raquis, donde las espiguillas o raquilas se insertan en espiral de forma basipétala (de abajo hacia arriba) (Adam et al., 2005). En las inflorescencias masculinas hay entre 100 a 300 raquilas largas, con 700 a 1.200 flores, mientras que en las femeninas se insertan 150 raquilas con 10 a 20 flores (Jacquemard, 1995; Thomas et al., 1970). También presentan una región distal estéril que se convierte en una espina roma, a diferencia de las espinas de las brácteas que rodean las flores, las cuales son puntiagudas. Los híbridos tienen espinas más cortas, no puntiagudas y de color marrón medio (Corley & Tinker, 2003).



Figura 1. Inflorescencias femeninas en antesis estado fenológico de *Elaeis guineensis* (a) y el híbrido interespecífico O×G (b). Fotos: Forero *et al.*, 2012.

Nota: Estado fenológico BBCH 607 de *Elaeis guineensis*. Tomado del libro generalidad sobre la morfología y fenología de la palma de aceite (pag. 24) (Forero *et al.*, 2012)

4.2.5. Flores

La flor femenina funcional (pistilada) se desarrolla en una triada junto a dos flores masculinas no funcionales (estaminadas), lo cual es característico de las plantas monocotiledóneas. Las flores se disponen en espiral alrededor de la raquila, y cada una está protegida por una bráctea espinosa. Esta disposición se clasifica como una inflorescencia compleja simpodial de tipo cincino, donde el eje principal (raquila) está determinado, y las ramificaciones laterales (flores) se producen sucesivamente por meristemas axilares (Adam *et al.*, 2005; Corley & Tinker, 2003; van Heel, Breure Cornelius, & Menéndez, 1987).

4.2.4.4. Antesis

En la etapa de antesis, los estigmas de las flores femeninas se expanden hacia el exterior, y la superficie receptiva se vuelve papilada y húmeda. La antesis ocurre de forma acropétala, con las flores femeninas abriéndose en un período de cuatro días, generalmente entre las 9:00 y las 10:00 a.m. La máxima receptividad del estigma y germinación del polen se alcanzan cuando los lóbulos estigmáticos están completamente expuestos (Tandon *et al.*, 2001). Durante esta

etapa, el polen producido emite un olor característico a anís o hinojo y su coloración es amarilla (Raygada, 2005).

4.2.5. fruto

El fruto es una drupa de forma esférica, ovoide o elongada. Está compuesto por un pericarpio dividido en exocarpio, mesocarpio, endocarpio y endospermo, el cual rodea la almendra (Corley, 1976; Siew *et al.*, 2003). La apariencia externa del fruto varía durante el desarrollo, siendo la coloración más común violeta oscuro en el ápice y verde amarillento en la base antes de la maduración (*nigrescens*). También existen frutos con tonos verdes (*virescens*) antes de madurar. Según el grosor del cuesco, los frutos se clasifican en cuesco tipo Dura (grueso), Tenera (delgado), Pisifera (sin cuesco) y Partenocarpico (sin semilla o endospermo) (figura 1) (Corley & Tinker, 2003).

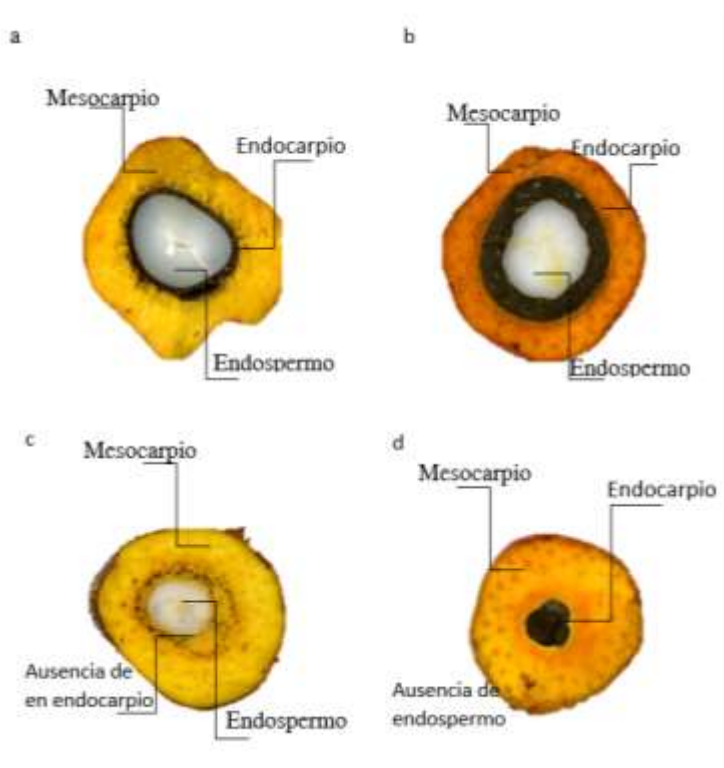


Figura 2. Estructura del fruto de palma de aceite (*Elaeis Oleifera* y *Elaeis guineensis*) observado en corte transversal. Tipos de frutos según es cuesco: a) tenera; b) dura; c) pisifera; d) partenocárpico. Elaboración propia

4.2.6. Semilla

Las semillas de *Elaeis oleifera* tienen un endocarpio de color castaño oscuro, leñoso y recubierto por fibras. El poro germinativo es pequeño y se encuentra en el ápice de la semilla, generalmente acompañado de otros dos poros rudimentarios. Generalmente por cada frutos, se desarrolla una sola almendra de forma irregular, que adopta la forma del lóculo y suele estar hundida hacia la base. El albumen es córneo y blanco, a veces con una cavidad central. El embrión es basal, mide 4,5 mm de largo por 1 mm de grosor y es algo oblicuo hacia el interior (Vallejo, 1976).

En comparación, las semillas de *Elaeis guineensis* tienen un endocarpio duro y pueden contener de una a tres almendras. El embrión es lineal y está separado del poro germinal por el opérculo (Hartley, 1988).

Las semillas del híbrido O×G son ovoides con un número variado de cúspides y un color pardo oscuro. Su peso promedio es de 3,6 g con una almendra por semilla, aunque pueden tener 2 o 3. Los embriones presentan desarrollo incompleto (Guerrero *et al.*, 2011).

Las semillas de palma de aceite se clasifican como dormantes debido a su testa gruesa, lo que retrasa la germinación de 1 a 2 años. Este retraso se debe a limitaciones en el crecimiento del embrión y la limitada toma de oxígeno (Hussey, 1958; Mok, 1982). Para una germinación efectiva, se requiere un período de alta temperatura y suficiente humedad (Ress, 1962; Mok, 1982).

En condiciones naturales, la descomposición del aceite del mesocarpio por hongos y microorganismos proporciona calor a las semillas, pero su germinación sigue siendo lenta y con bajo porcentaje (Rees, 1963). En tratamientos controlados, las semillas se almacenan a temperaturas de 38 a 40° C con variaciones en el tiempo y la humedad (Corley & Tinker, 2003; Hussey, 1958; Periasamy, Gopapal, & Soh, 2002; Ress, 1962).



Figura 3. Semilla de la palma de aceite. a) vista externa semilla de palma de aceite, b) almendra, c) endospermo y embrión, d) embrión aislado.

Nota: Tomado del libro generalidad sobre la morfología y fenología de la palma de aceite (pag. 24) (Forero et al., 2012)

4.3. Marco legal

4.3.1. Trabajo de grado

Para llevar a cabo el trabajo de grado, el estudiante debe acatar las disposiciones establecidas en el reglamento estudiantil, específicamente en el acuerdo número 186 emitido el 02 de diciembre de 2005. Esto incluye seguir las pautas descritas en los artículos 35 y 36 del capítulo VI relacionado con el trabajo de grado.

4.3.2. Artículo 35

La Universidad de Pamplona requiere que los estudiantes completen un proyecto especial denominado "Trabajo de Grado" como parte de los requisitos para obtener el título profesional. Este proyecto permite al estudiante consolidar su información integral, así como desarrollar estrategias, ejecutar y planificar proyectos utilizando los conocimientos adquiridos durante su formación universitaria para abordar problemas o necesidades que puedan ser relevantes en su futuro profesional (Universidad de Pamplona, 2005).

4.3.3. Artículo 36

Modalidad de trabajo de grado: Pasantía de Investigación, se lleva a cabo en un grupo de investigación reconocido por Colciencias. El estudiante debe presentar una propuesta que incluya el Cronograma de Trabajo y una carta de aceptación del Grupo, así como un informe avalado por el director de este (Universidad de Pamplona, 2005).

5. Metodología

5.1. Sitio de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental Palmar de la Vizcaína (CEPV) ubicado en el departamento de Santander, municipio de Barrancabermeja, en el km 32 Vía la Lizama del corregimiento Peroles, sobre la Troncal del Magdalena Medio. El predio del campo experimental tiene una extensión de 241 hectáreas dedicadas al cultivo de palma de aceite tanto africana, como oleífera, algunos híbridos interespecíficos O×G y clones, junto con infraestructura dedicada a laboratorios de investigación (Cenipalma, 2023) (Figura 4).

El área de estudio está caracterizada por un clima tropical húmedo con una temperatura media anual de aproximadamente 30°C y una precipitación promedio anual de 3,000 mm. Los suelos son predominantemente franco-arenosos, con buen drenaje, adecuados para el cultivo de palma de aceite. La región presenta una altitud media de 75 metros sobre el nivel del mar y condiciones agroecológicas óptimas para la investigación y desarrollo de la palma de aceite (Climate Date, 2021).

La colección biológica *Elaeis oleífera* de Cenipalma, se encuentra ubicada en los bloques uno y tres del campo experimental, los cuales a su vez fueron establecidos en campo en los años 2004 y 2021 respectivamente (Fedepalma; Cenipalma, 2023)



Figura 4. Vista satelital, campo experimental Palmar de la Vizcaína

Nota. Localización del sitio donde se realizó estudio(Google maps, 2024)

5.2. Material vegetal

Inflorescencias femeninas en antesis de palmas de aceite americana de la colección biológica de trabajo de Cenipalma. También se usaron inflorescencias femeninas de *Elaeis guineensis*, en antesis o estado fenológico BBCH 607 como testigo, para comparación biomorfométrica (figura 5).



Figura 5. Inflorescencia femenina en antesis (estado BBCH 607). a) *Elaeis oleifera* y b) *Elaeis guineensis*. Fuente: elaboración propia.

Para la identificación de características fenotípicas y morfométricas de las semillas (parte seminal) y de los frutos de cada ecotipo de palma de aceite americana (*E. oleifera*) evaluado, así como de los testigos de comparación de palma de aceite africana (*E. guineensis*), se utilizó una muestra aleatoriamente escogida de racimos cosechados en madurez comercial o punto óptimo de cosecha (BBCH 807) de ambas especies de palmas en los ecotipos escogidos.



Figura 6. Fruto de *Elaeis oleifera*. a) corte longitudinal, b) corte transversal Fuente: elaboración propia.

5.3. Diseño de muestreo

Para el presente trabajo se realizó un muestreo aleatorio en la que se seleccionaron tres inflorescencias femeninas en antesis (estado BBCH 607) de palma de aceite americana de los orígenes Brasil y Perú, que fueron comparadas con tres inflorescencias *Elaeis guineensis*, por lo que se trabajó con un total de 9 estructuras florales femeninas.

Se realizó una división arbitraria de las inflorescencias para medir y caracterizar los segmentos basal, medio y apical de cada inflorescencia. Por tanto, se contaron una a una el total de flores en 10 raquillas de cada segmento, que conforma cada inflorescencia de cada especie evaluada. También se tomó una muestra homogénea 30 raquillas por segmento que se utilizaron para medir su longitud. En cuanto a las flores individuales se tomó una muestra homogénea de 270 flores en por especie evaluada, las cuales además de medir la longitud de la misma

Se tomó registro fotográfico de las inflorescencias con una cámara digital power Shot mientras las estructuras individuales de raquillas, flores y otros, se registraron como imagen a través de un scanner Epson XL. Por su parte el conteo para indicar el número raquillas y numero de flores que se encuentran dentro de las raquillas de las inflorescencias se llevó a cabo completamente manual.

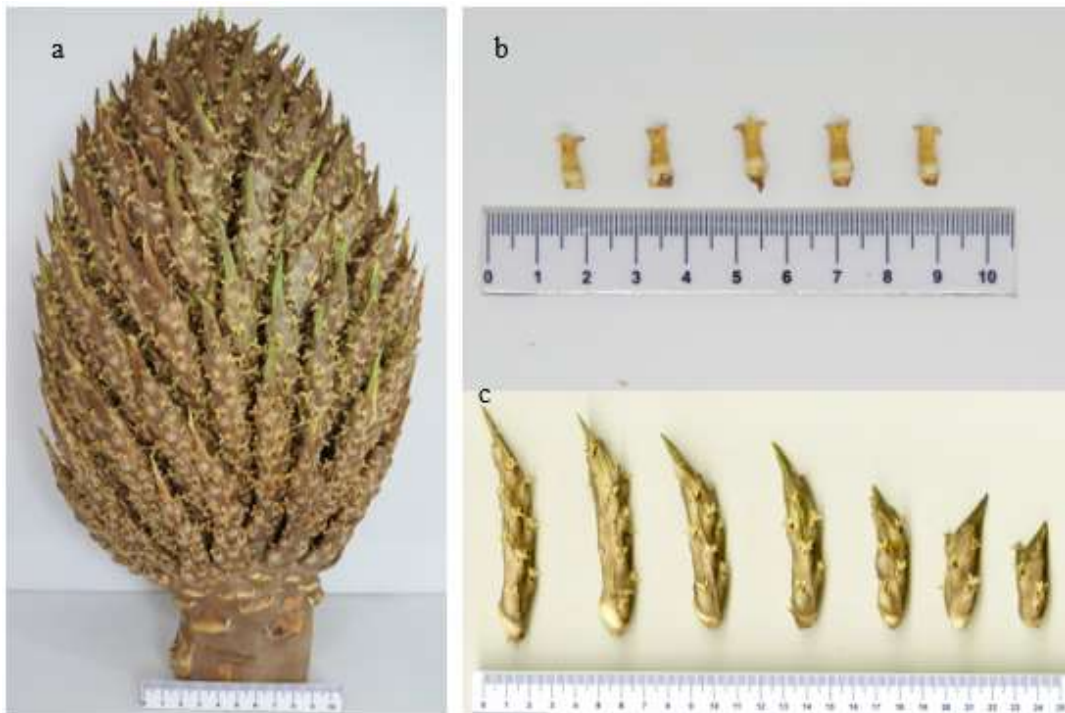


Figura 7. a) Inflorescencia de *E. oleífera* en anthesis. b) flores individualizadas y c) raquillas. Elaboración propia.

La caracterización fenotípica y morfométrica de las semillas, se hizo con base en un cuarto de racimo de los 15 racimos seleccionados por cada especie, en los cuales se escogieron aleatoriamente 45 frutos de los cuales, 15 frutos se mantuvieron intactos, mientras que a los siguientes 15 frutos se les hizo corte longitudinal y se finalizó con 15 frutos sobre los que se hizo corte transversal. Posteriormente se hizo el respectivo registro como imagen, a través de un escáner Epson XL.



Figura 8. proceso frutos; a) cuarto de racimo a desfrutar, b) frutos seleccionados, c) frutos escaneados. d) medicion a traves de image J. Elaboracion propia.

Se colocaron las muestras de flores, fracturas y frutos en la bandeja de vidrio del escáner Epson XL, diseñada para colocar documentos y objetos planos. Para obtener una imagen de alta calidad, se colocó un fondo blanco en la tapa del escáner, lo que permitió una iluminación uniforme y un contraste óptimo.

Las muestras se dispusieron de manera que se pudieran visualizar con claridad, incluyendo la medida de referencia respectiva para cada fruto. Una vez que las muestras estuvieron correctamente colocadas, se procedió a escanearlas utilizando el escáner Epson XL. El resultado fue una imagen de alta resolución que capturó con detalle las características de cada muestra

5.4. Método y herramientas de medición Variables consideradas

Las imágenes de las flores, raquillas, frutos y sus componentes se escanearon en un escáner Epson XL, incluyendo siempre una medida de referencia en cada imagen (una regla de

30 cm), lo que permitió calibrar las dimensiones en el software ImageJ. Con este programa, se realizaron mediciones de longitud, ancho y área de las estructuras estudiadas. La calibración en ImageJ se efectuó ajustando la escala según la medida de referencia en cada imagen para garantizar la precisión de las mediciones.

La madurez comercial de los frutos fue determinada en función de su punto óptimo de cosecha, definido al momento en que los racimos eran recolectados en el campo para realizar un análisis de racimo previo. El peso de los frutos se determinó utilizando una balanza analítica (precisión ± 0.01 g), calibrada antes de cada sesión de medición para garantizar la precisión de los datos.

Los cortes longitudinales y transversales de los frutos se realizaron utilizando cuchillos medianos que facilitó los cortes precisos. Durante este procedimiento, se emplearon guantes de seguridad que permitieron un manejo adecuado de los frutos y herramientas, minimizando riesgos y asegurando un ambiente controlado para las mediciones.

5.5. Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico descriptivo utilizando el programa R Studio, donde se aplicó el análisis de varianza y comparación de medias para la comparación de total de flores para las especies americanas de origen Brasil, Origen Perú y la especie *E. guineensis*. No se realizaron más análisis estadísticos teniendo en cuenta que se requiere un mayor número de repeticiones, desatacando que esto es un resultado parcial, es decir, la primera parte de la caracterización.

6. Resultados

6.1. Caracterización floral

Con base en el conteo del total de flores de las inflorescencias femeninas evaluadas, se observó de forma constante más de 4000 flores para las tres inflorescencias de *E. oleifera* de origen Brasil, mientras que en las inflorescencias de *E. oleifera* de Perú la cantidad de flores por inflorescencia varió entre 2000 y menos de 3000. En palma africana *E. guineensis* se contaron poco más de 2000 flores en dos de las inflorescencias evaluadas, mientras que en la tercera se llegó casi a 5000 flores (Figura 9).

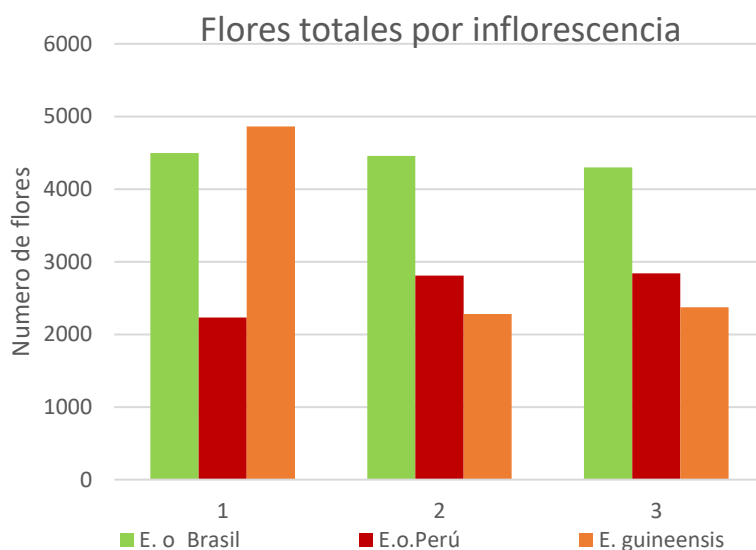


Figura 9. Número de flores por inflorescencia, en tres repeticiones de *E. oleifera* y *E. guineensis*. Fuente: elaboración propia.

También se contabilizó el total de las raquilas de las inflorescencias mencionadas (Figura 10), a partir de lo cual se observó la tendencia a una mayor cantidad de raquilas en las inflorescencias de *E. guineensis* en comparación con *E. oleifera*, en cuyo caso, la menor cantidad de raquilas fue para el origen Perú en comparación con las más de 160 raquilas por inflorescencia que se contaron en las inflorescencias del origen Brasil (figura 10).

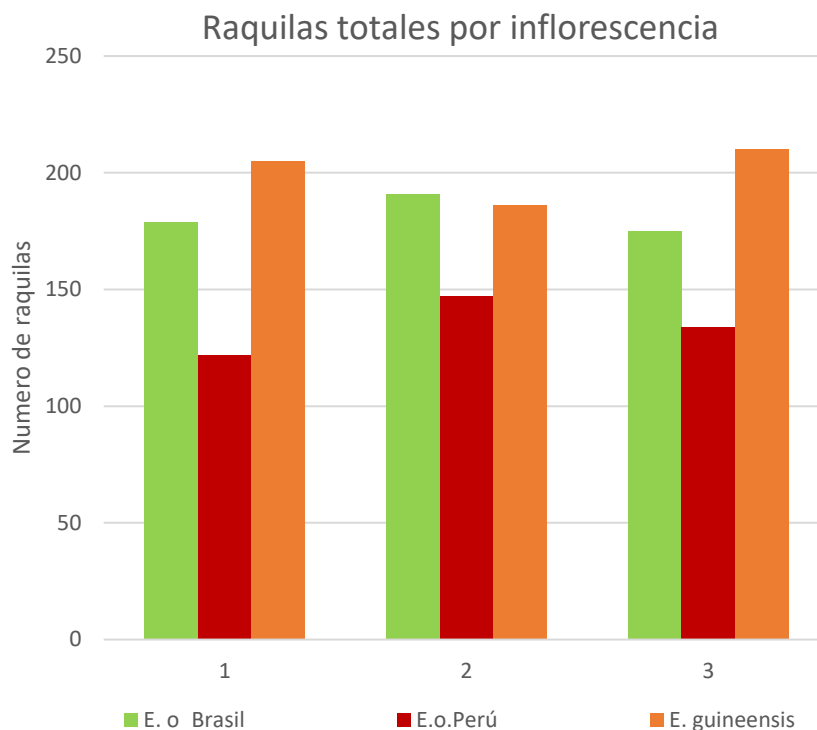


Figura 10. Número de raquilas totales por inflorescencia en tres repeticiones de *E. oleifera* y *E. guineensis*. Fuente: elaboración propia.

Cada flor en una inflorescencia es un potencial fruto, luego de que la flor sea polinizada o sea inducida a la formación partenocárpica con un fitorregulador de crecimiento. Teniendo en cuenta lo anterior, se podría inferir que las inflorescencias de palma americana del origen Brasil potencialmente podrían tener una mayor cantidad de frutos por racimo en comparación con el origen Perú. Sin embargo, pareciera necesaria una mayor cantidad de inflorescencias para evaluar en el origen de *E. guineensis* porque su variación en total de flores y raquilas es mayor sin una clara tendencia.

Dentro de la caracterización floral de la palma de aceite americana (*E. oleifera*) que se comparó con la especie africana (*E. guineensis*), también se hizo el conteo de flores en una muestra homogénea a partir de 30 raquilas aleatoriamente escogidas de cada inflorescencia. En este conteo se observó una cantidad más uniforme de flores en las raquilas del origen Perú de

palma americana, con cerca de 600 flores, en comparación las del origen Brasil, que osciló entre 550 y 800 flores en las 30 raquillas, al igual que en las inflorescencias de palma africana. En términos generales, las especies de *E. oleifera* tienen un mayor número total de flores por inflorescencia comparado con *E. guineensis*. En particular, las flores medias son predominantes en todas las especies evaluadas, seguidas por las basales, y finalmente las apicales, que son las menos representadas. *E. o. Perú* presenta el mayor número de flores totales, mientras que *E. guineensis* tiene la menor cantidad de flores en cada segmento. Esto podría estar relacionado con diferencias genéticas y ambientales entre las especies y sus regiones de origen. (Figura 11 y tabla 2).

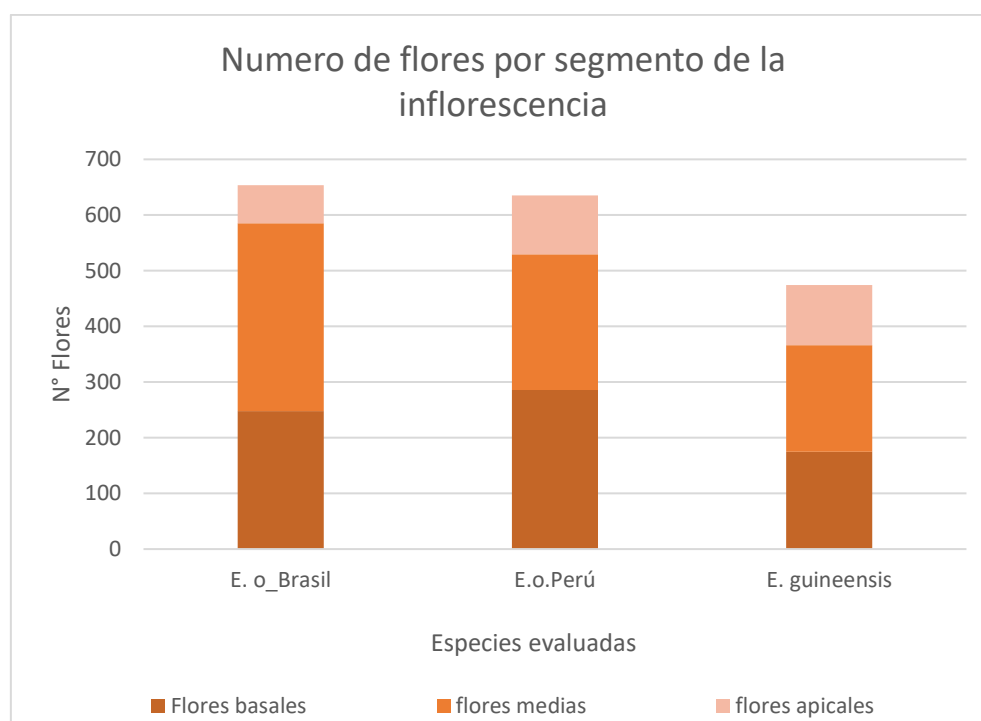


Figura 11. Flores contadas en 30 raquillas de inflorescencias de *E. oleifera* y *E. guineensis*.

Fuente: elaboración propia.

Con base en el conteo de flores en raquillas se observó que en palma *Elaeis oleifera* de Brasil en promedio hay 22 flores por raquilla, mientras que en el origen Perú se contaron 21

flores por raquila, en contraste con las 15 flores por raquila contadas en palma africana (tabla 2).

Tabla 2. Numero de flores promedio por inflorescencias. Fuente: elaboración propia.

Numero de flores							
Especie/origen	n_raquilas	n_flores	Promedio	Máximo	Mínimo	Desv. estándar	C. variación
<i>E. oleifera</i> -Brasil	90	1961	21,79	43	2	13,56	1,61
<i>E. oleifera</i> -Perú	90	1905	21,17	39	3	8,75	2,42
<i>E. guineensis</i>	90	1422	15,80	42	2	7,49	2,11

Además de la cantidad de flores por inflorescencias y las raquilas, así como el tamaño de estas estructuras, hace parte de la caracterización floral que permiten inferir el potencial productivo de la palma de aceite.

Las raquilas sobre las cuales se disponen las flores dentro de las inflorescencias presentaron longitudes promedio de 12,20 cm en la palma de aceite americana de origen Perú, mientras que en las raquilas del origen Brasil la longitud fue de 11,60. Estas medidas no fueron significativamente diferentes entre sí, ni con respecto de las tomadas en las inflorescencias de palma africana (*E. guineensis*) que midieron en promedio 11.22 cm (Tabla 3).

Tabla 3. Longitud de raquilas entre *E. oleifera* (Perú-Brasil) y *E. guineensis*. Fuente: elaboración propia.

Longitud de raquilas						
Especie/origen	n_raquilas	Promedio	Máximo	Mínimo	Desv. estándar	C. variación
<i>E. oleifera</i> -Brasil	90	11,61	14,50	4,90	2,03	5,72
<i>E. oleifera</i> -Perú	90	12,20	17,2	4,3	3,34	3,65

<i>E. guineensis</i>	90	11,22	16,80	7,00	1,89	5,93
----------------------	----	-------	-------	------	------	------

La longitud de las flores se tomó con base en una muestra de 90 flores por cada especie y origen, para un total de 270 flores y en estas mediciones se observó mayor tamaño para las flores de *E. guineensis*, con longitudes promedio de 17,57 mm, en comparación a las flores de la especie americana (*E. oleifera*). Sin embargo entre los orígenes Brasil y Perú la longitud de sus flores fue similar y entre un rango de 10 a 11 mm (Tabla 4).

Tabla 4. Tamaño promedio de flores medidas individualmente en las inflorescencias femeninas de la especie *E. oleifera* (Origen Brasil, Perú) y *E. guineensis*. Fuente: elaboración propia.

Longitud de la flor						
Especie/origen	n_flor	Promedio	Máximo	Mínimo	Desv. estándar	C. variación
<i>E. oleifera</i> - Brasil	270	10,96	12,55	1,91	0,93	11,79
<i>E. oleifera</i> - Perú	270	11,03	15,33	8,95	0,98	11,28
<i>E. guineensis</i>	270	17,57	22,64	11,09	2,63	6,68

La parte final de la caracterización morfométrica tuvo en cuenta la longitud y el ancho del ovario de las flores individualmente medidas, las cuales se relacionaron con indicador adimensional. En cuanto a la longitud del ovario (Tabla 5) de los orígenes Brasil y Perú el rango de tamaño fue de 2 a 5 mm, con un ancho de 3 a 5 mm, lo cual, a pesar de la variabilidad, es más pequeño en comparación con *E. guineensis* cuyos ovarios mostraron longitudes cercanas a los 10 mm, mientras que el ancho de estas estructuras fue cercano a los 8 mm.

Con relación a la longitud y ancho del ovario se observa que en *E. oleife*

ra de Brasil, el ancho promedio del ovario varía entre 3.51 y 4.32 mm, mientras que las *E. oleifera* de Perú muestran mayor variabilidad, con promedios que van desde 3.26 hasta 11.83 mm y coeficientes de variación altos en las réplicas 2 y 3, indicando una dispersión significativa en el tamaño del ovario. *E. guineensis* presenta promedios entre 4.23 y 5.44, con baja variabilidad, lo que indica una homogeneidad en sus datos. En general, *E. oleifera* de Perú destaca por su mayor variabilidad en el ancho del ovario

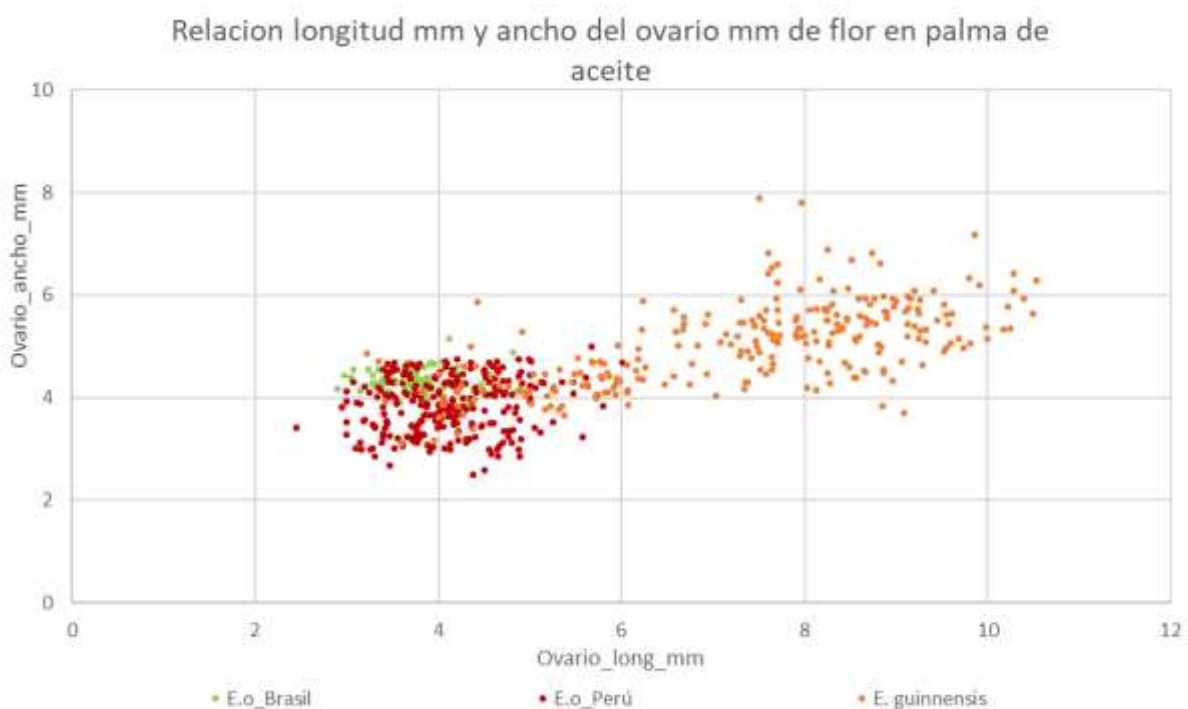


Figura 12. Dimensión del ovario de flores de las especies *E. oleifera* (Origen Brasil, Perú) y *E. guineensis* en términos de longitud y ancho (mm). Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la longitud del ovario, se observa que *E. oleifera* de Brasil tiene un promedio de 3,86 mm. Para *E. oleifera* de Perú tenemos que su promedio fue de 4,09 mm, finalizando tenemos el promedio de *E. guineensis* de 7,28 siendo este mayor a los ecotipos anteriormente mencionado.

Tabla 55. Longitud del ovario de flores (mm) de las especies *E. oleifera* (Origen Brasil, Perú) y *E. guineensis*. Fuente: elaboración propia.

Longitud del ovario						
Especie/origen	n_ovario	Promedio	Máximo	Mínimo	Desv. Estándar	C. variación
<i>E. oleifera</i> - Brasil	270	3,86	6,06	2,07	0,70	5,53
<i>E. oleifera</i> - Perú	270	4,09	6,01	2,45	0,59	6,94
<i>E. guineensis</i>	270	7,28	10,53	3,22	1,75	4,15

Los resultados obtenidos sugieren que las inflorescencias de *E. oleifera* de origen Brasil presentan un mayor número de flores y raquillas, con características morfométricas menos variables entre sí, lo que podría indicar un mayor potencial productivo en comparación con el origen Perú. En contraste, *E. guineensis* se distingue por la mayor variabilidad en sus características florales y ovarios de mayor tamaño, lo que sugiere una mayor plasticidad en su desarrollo.

Aunque pareciera verse diferencias entre las características florales y seminales de las dos especies comparadas y hasta el los dos orígenes de la palma de aceite americana, estadísticamente no se encontraron diferencias significativas ya que los valores de ($Pr(>F)$) en todos los casos son mayores a 0.05, es decir, que no se puede rechazar la hipótesis de que las medias son iguales, lo que de momento sugiere que es necesario evaluar un mayor número de inflorescencias para obtener una cantidad de repeticiones que permita establecer conclusiones más certeras sobre estas variables

Tabla 6. ANOVA para la comparación de total de flores para las especies americanas de origen Brasil, Origen Perú y la especie *E. guineensis*. Fuente: elaboración propia.

Análisis comparativo	Df (Grados de libertad)	Suma de Cuadrados (Sum Sq)	Cuadrados Medios (Mean Sq)	Valor F	Pr(>F)
Brasil vs. Perú	1	10144	10144	0,861	0,524
Residuales	1	11782	11782		

Brasil contra E. guineensis	1	8465	8465	0,629	0,573
Residuales	1	13461	13461		
Perú vs. E. guineensis	1	8465	8465	0,629	0,573
Residuales	1	13461	13461		

6.2. Caracterización rasgos seminales

Los frutos de *E. guineensis* tienen un rango de áreas y pesos considerablemente mayor, alcanzando áreas de hasta 10 cm² y pesos de hasta 25 gramos. En contraste, los frutos de *E. oleífera* de Brasil y Perú muestran áreas y pesos menores, con una concentración más densa en áreas inferiores a 4 cm² y pesos por debajo de 10 gramos. Esto sugiere que *E. guineensis* produce frutos más grandes y pesados en comparación con *E. oleífera* (Figura 15).

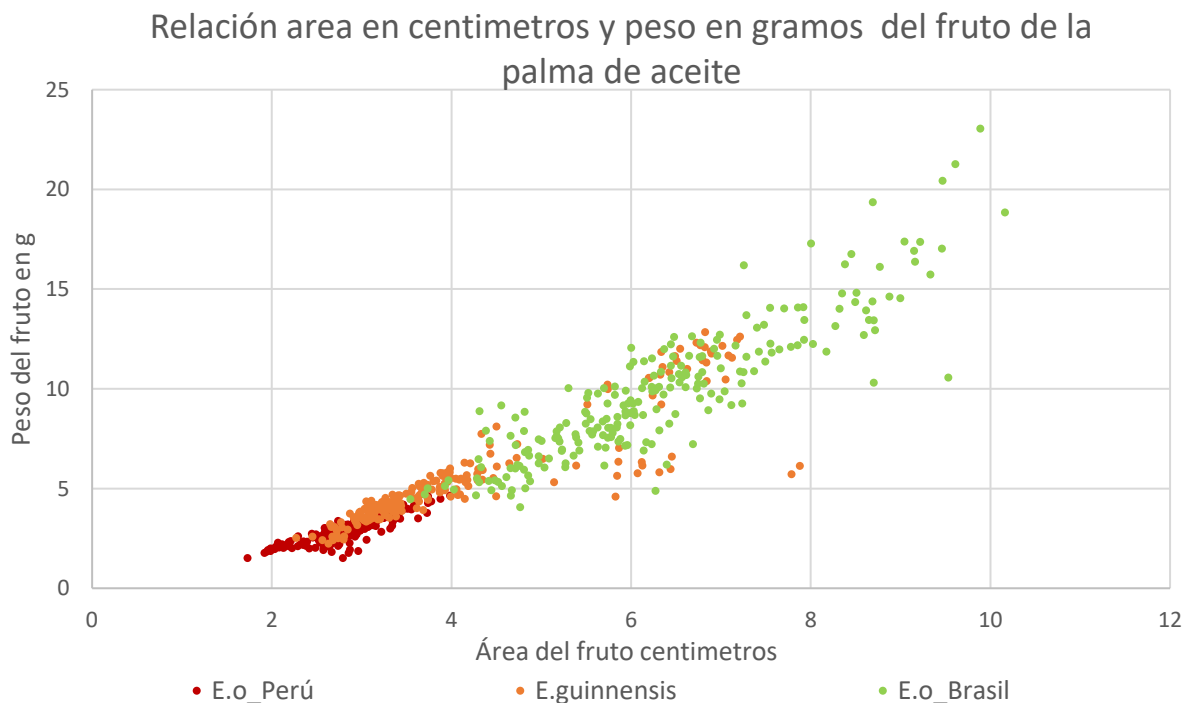


Figura 13. Relación entre peso y área de fruto de palma de aceite (*Elaeis oleífera* y *Elaeis guineensis*) en corte longitudinal. Fuente: elaboración propia.

Se registra que, *E. guineensis* presenta el mayor peso promedio de fruto (9.82 g), con un peso máximo de 23.05 g y mínimo de 4.07 g, además de una desviación estándar de 3.42 y un coeficiente de variación de 2.87, lo cual indica una variabilidad en el peso de sus frutos. En cambio, *E. oleifera* de Brasil muestra el menor peso promedio (2.92 g), con un rango de pesos entre 1.52 g y 4.69 g y una menor desviación estándar (0.61), pero tiene el coeficiente de variación más alto (4.80), lo cual sugiere una baja consistencia relativa en sus pesos, aunque menos dispersa que las otras especies. Por su parte, *E. oleifera* de Perú presenta un peso promedio intermedio (5.39 g), con una desviación estándar de 2.55 y un coeficiente de variación de 2.12, indicando una variabilidad menor comparada con *E. oleifera* de Brasil (Tabla 7).

Tabla 76. Comparación del peso de frutos registrados en gramos, 225 frutos en total por especie (*E. oleifera* y *E. guineensis*). Fuente: elaboración propia.

Especie/origen	n_ frutos	Promedio	Máximo	Mínimo	Desv. estándar	C. variación
<i>E. oleifera</i> -Brasil	225	2,92	4,69	1,52	0,61	4,80
<i>E. oleifera</i> -Perú	225	5,39	12,84	2,23	2,55	2,12
<i>E. guineensis</i>	225	9,82	23,05	4,07	3,42	2,87

E. guineensis presentó los frutos con la mayor área promedio, de 10 cm², y una variabilidad relativa moderada, con un coeficiente de variación de 7.27%, lo cual sugiere frutos de mayor tamaño, pero con una dispersión intermedia en las áreas. *E. oleifera* de Perú tuvo un área promedio intermedia de 8 cm² y la menor variabilidad relativa, con un coeficiente de variación de 5.99%, indicando que sus frutos son relativamente uniformes en tamaño. En contraste, *E. oleifera* de Brasil mostró el área promedio más baja, de 4 cm², y un coeficiente de variación de 10.09%, lo cual sugiere frutos pequeños con una buena consistencia en su tamaño. Estos resultados indican que *E. guineensis* es preferible para aplicaciones donde se requieran frutos de mayor área, *E. oleifera* de Perú ofrece frutos de tamaño intermedio y uniformes, mientras que *E. oleifera* de Brasil proporciona frutos pequeños y homogéneos (Tabla 8).

Tabla 87. Comparación del área de frutos registrados en centímetros cuadrados, 225 frutos en total por especie *E. oleifera* y *E. guineensis*. Fuente: elaboración propia.

Area de frutos						
Especie/origen	n_ frutos	Desv.				
		Promedio	Máximo	Mínimo	Estándar	C. variación
<i>E. oleifera</i> -Brasil	225	4	4	2	0,40	10,09
<i>E. oleifera</i> -Perú	225	8	8	2	1,32	5,99
<i>E. guineensis</i>	225	10	10	4	1,40	7,27

En el análisis de las áreas promedio de tres partes del fruto (mesocarpio, endocarpio y endospermo) en cortes longitudinales (Tabla 9) en las especies *Elaeis oleifera* de Brasil y Perú, y *Elaeis guineensis*, se observa que en el mesocarpio *E. oleifera* de Brasil tiene un área promedio de 2, mientras que *E. oleifera* de Perú presenta un promedio mayor (3) y una mayor dispersión en los datos, sugiriendo variaciones en el tamaño entre ambas poblaciones. *E. guineensis*, con un promedio más alto de 8, indica un mesocarpio más desarrollado. En el endocarpio, ambas poblaciones de *E. oleifera* muestran áreas promedio similares (0.9), aunque los frutos de Perú presentan mayor variabilidad. Por otro lado, el endospermo es prácticamente inexistente en *E. oleifera* de ambos orígenes, mientras que *E. guineensis* muestra un desarrollo significativo con un promedio de 0.9.

Al complementar estos resultados con los cortes transversales (Tabla 10), se confirma una tendencia similar. En el mesocarpio, *E. oleifera* de Brasil registra un promedio de 1.55, mientras que Perú muestra un mayor valor de 3.01, y *E. guineensis* alcanza 2.26. En el endocarpio, *E. oleifera* de Perú nuevamente presenta un área promedio superior (0.63) en comparación con Brasil (0.51), y *E. guineensis* destaca con un promedio de 0.98. En el endospermo, *E. oleifera* de Brasil no muestra desarrollo, mientras que Perú registra un área muy baja de 0.05, y *E. guineensis* mantiene un área considerable de 0.82, consolidando su superioridad en el desarrollo de esta parte del fruto.

Tabla 98. Comparación de las Áreas Promedio y Variabilidad en Partes del fruto de *Elaeis oleifera* (Brasil y Perú) y *Elaeis guineensis* en cortes longitudinales. Fuente: elaboración propia.

Área de frutos en cortes longitudinales						
Especie/origen	Área	n_ frutos	Promedio	Máximo	Mínimo	Desv. estándar C. variación
E. oleifera-Brasil	Mesocarpio	225	1,85	3,08	1,07	0,39 4,74
<i>E. oleifera</i> -Perú	Mesocarpio	225	3,01	5,57	0,54	0,95 3,17
<i>E. guineensis</i>	Mesocarpio	225	3,44	8,26	1,17	1,38 2,50
E. oleifera-Brasil	Endocarpio	225	0,85	1,35	0,41	0,16 5,22
<i>E. oleifera</i> -Perú	Endocarpio	225	0,88	2,75	0,14	0,56 1,58
<i>E. guineensis</i>	Endocarpio	225	1,10	8,26	0,00	0,65 1,69
E. oleifera-Brasil	Endospermio	225	0,01	0,54	0,00	0,1 0,2
<i>E. oleifera</i> -Perú	Endospermio	225	0,12	2,96	0,00	0,3 0,4
<i>E. guineensis</i>	Endospermio	225	0,88	1,90	0,00	0,4 2,4

Tabla 109. Comparación de las Áreas Promedio y Variabilidad en Partes del fruto de *Elaeis oleifera* (Brasil y Perú) y *Elaeis guineensis* en cortes trasversales. Fuente: elaboración propia.

Área de frutos en cortes trasversales						
Especie/origen	Área	n_ frutos	Promedio	máximo	Mínimo	Desv. estándar C. variación
E. oleifera-Brasil	Mesocarpio	225	1,55	2,30	0,65	0,33 4,74
<i>E. oleifera</i> -Perú	Mesocarpio	225	3,01	5,57	0,54	0,95 3,17
<i>E. guineensis</i>	Mesocarpio	225	2,26	5,84	0,29	0,91 2,48
E. oleifera-Brasil	Endocarpio	225	0,51	0,85	0,26	0,11 4,60

<i>E. oleifera</i> - Perú	Endocarpio	225	0,63	2,55	0,08	0,38	1,69
<i>E. guineensis</i>	Endocarpio	225	0,98	2,62	-0,14	0,52	1,89
<i>E. oleifera</i> - Brasil	Endosperm o	225	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>E. oleifera</i> - Perú	Endosperm o	225	0,05	1,56	0,00	0,20	0,23
<i>E. guineensis</i>	Endosperm o	225	0,82	2,73	0,00	0,38	2,14

6.3. Discusión

Los ecotipos de *Elaeis oleifera* presentan diferencias marcadas en las inflorescencias femeninas entre los orígenes Brasil y Perú. En términos de flores totales por inflorescencia, el ecotipo Brasil se destaca con un mayor número, superando a Perú con valores que rondan las 4000 flores, mientras que Perú presenta un rango de 2000-3000 flores. Esto contrasta con la gran variabilidad observada en *E. guineensis*, cuya cantidad de flores fluctúa ampliamente entre 2000 y 4800. Respecto a las raquillas, Brasil también muestra una mayor cantidad en comparación con Perú, aunque ambas son superadas por la cantidad registrada en *E. guineensis*. En cuanto a la distribución de flores por segmento de la inflorescencia, Perú presenta una mayor concentración en la parte basal, mientras que Brasil exhibe una distribución más uniforme, destacándose en la parte media. *E. guineensis*, por su parte, muestra uniformidad en los segmentos medio y basal, con menor cantidad en la región apical. Este trabajo inédito en esta especie *E. oleifera* corresponde a un punto de partida no solo para conocer la morfología de los diferentes ecotipos estudiados, sino que también para validar la metodología empleada para adelantar otro estudio en un mayor número de ecotipos, así como, para realizar estudios de correlación entre estructura floral, tamaño y calidad de frutos.

La longitud de las raquillas no muestra diferencias significativas entre los ecotipos y la especie de referencia, lo que sugiere una estabilidad morfológica en este rasgo. Sin embargo, en la longitud de las flores, tanto Brasil como Perú presentan estructuras más pequeñas en

comparación con *E. guineensis*, que alcanza hasta 17 cm. El ancho y la longitud del ovario también varían, con Perú mostrando mayor heterogeneidad y Brasil caracterizándose por dimensiones uniformes (3,57-4,32 mm). *E. guineensis* exhibe ovarios más grandes en general.

En cuanto a las semillas y frutos, se observan diferencias notables entre los ecotipos de *E. oleífera* en comparación con *E. guineensis*. Los frutos de *E. oleífera* Perú son más grandes y pesados en promedio que los de *E. oleífera* Brasil, aunque sin una tendencia clara. Por el contrario, los frutos de *E. oleífera* Brasil son pequeños y livianos, mientras que *E. guineensis* presenta frutos significativamente más grandes y pesados que ambos ecotipos de *E. oleífera*. La proporción de mesocarpio es mayor en Perú y similar a la de *E. guineensis*, lo que indica una mayor aptitud para la producción de aceite en estos dos casos en comparación con Brasil, que muestra una menor proporción.

Por otro lado, la proporción de endocarpio es inferior en los ecotipos de *E. oleífera* en comparación con *E. guineensis*, que tiene el endocarpio más desarrollado. Finalmente, la proporción de endospermo varía notablemente: Perú presenta una cantidad moderada, Brasil carece casi por completo de endospermo, mientras que *E. guineensis* exhibe una alta proporción de este componente. Este trabajo nos facilitará una adecuada selección de parentales *E. oleífera* para ser incluidas a futuro de mejoramiento genético.

7. Conclusiones

Las inflorescencias femeninas de los ecotipos de *Elaeis oleifera* muestran diferencias estructurales y biométricas significativas entre Brasil y Perú. Brasil se destaca por su mayor número de flores y raquilas, mientras que Perú sobresale por una mayor concentración de flores en la parte basal de la inflorescencia. En los demás parámetros evaluados no presentaron diferencias significativas.

En los frutos, el ecotipo Perú es el más prometedor para la producción de aceite, gracias a su mayor tamaño y proporción en mesocarpio. En contraste, Brasil presenta frutos más livianos. *E. guineensis* mantiene su posición como referencia, con frutos de mayor tamaño y peso en general.

8. Recomendaciones

Para mejorar esta investigación se recomienda ampliar el número de muestras y replicación para fortalecer la base estadística y obtener conclusiones precisas sobre las diferencias fenotípicas entre los ecotipos evaluados, esto con el fin de facilitar su aplicación en mejoramiento genético.

9. Bibliografía

Amblard, P., Billotte, N., Cochard, B., Durand-Gasselin, T., Jacquemard, J. C., Louise, C., Nouy, B., & Potier, F. (2004). El mejoramiento de la palma de aceite *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleifera* por el Cirad-CP. *Palmas*, 25(Especial II), 306-310.

Arias, D., González, M., Prada, F., Ayala-Díaz, I., Montoya, C., Daza, E., & Romero, H. M. (2015). Genetic and phenotypic diversity of natural American oil palm (*Elaeis oleifera* (H.B.K.) Cortés) accessions. *Tree Genetics & Genomes*, 11(6), 122. <https://doi.org/10.1007/s11295-015-0946-y>

Barba, J. (2016). Introgresión de genes *E. guineensis* en híbridos interespecíficos O×G para recuperar la fertilidad del polen y otras características deseables en palma de aceite. *Palmas*, 37(Especial I), 285-293. https://doi.org/10.1300/J052v25n01_06

Barcelos, E., Amblard, P., Berthaud, J., & Seguin, M. (2006). The genetic diversity of the American oil palm, *Elaeis oleifera* (Kunth), Cortés revealed by nuclear RFLP markers. *Int. Symposium on Oil Palm Genetic Resources and Utilization*, 1–20.

Bastidas, S. (2013). Híbrido O×G Corpoica El Mira de palma de aceite: Avances en el desarrollo de materiales genéticos resistentes a la PC. *Palmas*, 34(2), 135-141.

Bastidas, S., Peña, E., Reyes, R., Pérez, J., & 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*, 8(1), 5-11. <http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/77/77>

Bazurto, L. G. M., Pardey, Á. E. B., & Rodríguez, A. M. (2022). Generalidades sobre las inflorescencias y los polinizadores de la palma de aceite. https://www.researchgate.net/publication/369734802_Generalidades_sobre_las_inflorescencias_y_los_polinizadores_de_la_palma_de_aceite

Camacho, A., Serna, F., Flores, J., Flores, H., Manrique, P., & Bendezu, J. (2021). Morphological and molecular characterization of an *Elaeis oleifera* (H.B.K.) Cortes germplasm collection located in Ucayali, Peru. *Plos One*, 16(5), 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250445>

Cadena, T., Prada, F., Perea, A., & Romero, H. M. (2012). Lipase activity, mesocarp oil content, and iodine value in oil palm fruits of *Elaeis guineensis*, *Elaeis oleifera*, and the interspecific hybrid O×G (*E. oleifera* × *E. guineensis*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93, 674-680. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5940>

Cenipalma. (2022). Centros experimentales. <https://www.cenipalma.org/camposexperimentales/campo-experimental-palmar-de-la-vizcaina/>

Cenipalma. (2022). ¿Qué es Cenipalma? <https://www.cenipalma.org/que-es-cenipalma/>

Climate Date. (2021). Características climáticas Barrancabermeja, Santander. [Clima Barrancabermeja: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Barrancabermeja](#)

Chaves, G., Ligarreto, G. A., & Cayon, D. G. (2018). Physicochemical characterization of bunches from American oil palm (*Elaeis oleifera* H.B.K. Cortes) and their hybrids with African oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Acta Agronómica*, 67(1), 168-176. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n1.62028>

Escobar, R. (1982). Preliminary results of the collection and evaluation of the American oil palm *Elaeis oleifera* (HBK) in Costa Rica [Panamá and Colombia]. *Proc Int Conf on Oil Palm in Agriculture in the Eighties* (pp. 79-97). <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XB8305129>

Fedepalma. (2023). Buen comportamiento en producción de aceite de palma y récord de ventas en mercado local caracterizan palmiticultura colombiana en agosto de 2023. <https://fedepalma.org/noticias/buen-comportamiento-en-produccion-de-aceite-de-palma-y-record-de-ventas-en-mercado-local-caracterizan-palmiticultura-colombiana-en-agosto-de-2023/>

Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, F y Centro de Investigación en Palma de Aceite, C. (2023-09-19.). CEPV: Campo Experimental Palmar de la Vizcaina. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma. <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/142842>

Fontalvo, P. P., Marchant, S., Hernández, J. S., Rincón, V., Edison, D., Ayala, I. M., Montoya, C., & Romero, H. M. (2019). Modelo de distribución geográfica para la especie *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés, en la zona intertropical del continente americano. *Ceniavances*, 191, 1-8.

Fontalvo, P. P., Rodríguez, M., Daza, E., Marchant, S., Ayala, I. M., Montoya, C., & Romero, H. M. (2019). Estructura y variabilidad genética espacial de poblaciones de *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés en las regiones Andina y Caribe de Colombia. *Journal of Basic & Applied Genetics*, 30(1, suppl.), 155.

Forero, D. C., Hormaza, P. A., Moreno, L. P., & Ruíz, R. (2012). Generalidades sobre la morfología y fenología de la palma de aceite. <http://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/107644>

Hormaza, P., Forero, D., Ruiz, R., & Romero, H. M. (2010). Fenología de la palma de aceite africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) y del híbrido interespecífico (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*). Bogotá, Colombia: Colciencias – Cenipalma.

Ithnin, M., Teh, C.-K., & Ratnam, W. (2017). Genetic diversity of *Elaeis oleifera* (H.B.K.) Cortes populations using cross-species SSRs: implications for germplasm utilization and conservation. *BMC Genetics*, 18(1), 37. <https://doi.org/10.1186/s12863-017-0505-7>

Linares, O., Santacruz, L., & Rosero, G. A. (2019). Evaluación de la polinización artificial en el material híbrido O×G (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*). *Palmas*, 40(4), 96-105. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12934/12801>

Martins, V., Ferreira, J. A., Pereira, A., Galli, L. H., Picanço, M., Almeida de, S., Vieira, R. N., Fernandes, E., Alonso, A., Teixeira, M., & Júnior, S. (2020). American oil palm (*Elaeis oleifera*(Kunth) Cortes) from Brazil: Genetic diversity, population structure, and core collection. *Crop Science*.

Meunier, J. (1991). Una posible solución genética para el control de la pudrición de cogollo en la palma aceitera: Híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*. *Palmas*, 12(3), 9-26.

Moretzsohn, M. C., Ferreira, M. A., Amaral, Z. P. S., Coelho, P. J. A., Grattapaglia, D., & Ferreira, M. E. (2002). Genetic diversity of the Brazilian oil palm (*Elaeis oleifera* H.B.K.) germplasm collected in the Amazon forest. *Euphytica*, 124, 35-45. <https://doi.org/10.1023/A:1015621322247>

Moreno, L. P., Hormaza, P. A., Forero, D. C., & Romero, H. M. (2012). Fenología y análisis físicoquímico de racimos de palma de aceite O×G (*Elaeis oleifera* H.B.K. Cortés x *Elaeis guineensis* Jacq.) en tres zonas de Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 65(1), 6533-6543. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/36912>

Niño, M. C., Gutiérrez, L. G. A., & Cayon, D. G. (2021). Description and evaluation of fruits from O×G interspecific hybrid oil palm (*Elaeis oleifera* H.B.K. Cortes x *Elaeis guineensis* Jacq.) bunches grown in Colombia. *Agronomía Colombiana*, 39(2), 183-192. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v39n2.93215>

Núñez, A. (2016). Principales plagas en palma de aceite y su manejo. <http://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/113994>

Ollivier, J., Martinez-Reyna, M., & Mata-Sucre, Y. (1987). Experiencias en el manejo de colecciones de germoplasma de palma africana y palma americana. *Palma*, 8(4), 9-23.

Prada, F., Romero, H. M., & Ayala-Diaz, I. (2016). Biología reproductiva de la palma de aceite americana (*Elaeis oleifera* (HBK) Cortés): una revisión. *Palmas*, 37(4), 41-51. <https://doi.org/10.1111/jac.12069>

Prada, F., Romero, H. M., Ayala-Diaz, I., Montoya, C., Daza, E., & Arias, D. (2014). Evaluation of genetic diversity of American oil palm (*Elaeis oleifera*) in Colombia. *Plant Genetic Resources*, 13(1), 59-67. <https://doi.org/10.1017/S1479262114000720>

Prada, F., Romero, H. M., & González, M. (2016). Métodos de aprovechamiento del híbrido interespecífico O×G para mitigar los efectos del secado lento en la palma de aceite. *Palmas*, 38(4), 25-35. <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/108221>

Romero, H. M., & Álvarez, R. (2002). La reproducción en palma de aceite. *Palmas*, 23(4), 55-59.

Romero, H. M., & Daza, E. (2014). Strategies to improve productivity and reduce costs in oil palm plantations: The case of the Oil Palm Research Center in Colombia. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*.

Ruiz-Romero, R. (2018). Agronomía de la palma de aceite. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27164.85126>

Teh, C. K., Ong, A. L., Kwong, Q. B., Chew, F. T., Mayes, S., & Singh, R. (2016). Oil palm (*Elaeis guineensis*) genomics: The first decade of advances. *Tropical Plant Biology*, 9(3-4), 193-210. <https://doi.org/10.1007/s12042-016-9165-2>

Toledo, M. R., Zambrano, J. D., Pérez, A. C., & Romero, H. M. (2018). Métodos para el aprovechamiento de los híbridos O×G en condiciones de secado lento. *Palmas*, 39(3), 7-20.