



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**Inducción y desarrollo de frutos con
polinización y hormonas en híbridos *OxG*
de palma de aceite (*Elaeis oleifera* Kunth
Cortés x *Elaeis guineensis* Jacq.)**

Daniel Gerardo Cayón Salinas

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Departamento de Ciencias Agrícolas
Palmira, Colombia
2018

Inducción y desarrollo de frutos con polinización y hormonas en híbridos *OxG* de palma de aceite (*Elaeis oleifera* Kunth Cortes x *Elaeis guineensis* Jacq.)

Daniel Gerardo Cayón Salinas

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

Director:

Ph.D., Gustavo Adolfo Ligarreto Moreno

Línea de Investigación:
Fisiología de cultivos

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Departamento de Ciencias Agrícolas
Palmira, Colombia
2018

Dedicatoria

A mi esposa Lucía, a mis hijos Manuel Gerardo, Tania y Juan Diego y a mis nietos Juan Manuel, Juan Esteban y Lucas, por la paciencia monumental que les exigió mi esfuerzo.

A los amigos y compañeros leales y sinceros de la Sede Palmira que me animaron, convencieron e impulsaron de nuevo hacia la superación personal y el progreso académico olvidados.

Agradecimientos

- Al profesor Gustavo Adolfo Ligarreto Moreno, por la acertada dirección en todas las fases de la Tesis.
- Al ingeniero agrónomo Ángel Contreras Baños, de la antigua Empresa Oleaginosas Las Brisas (Puerto Wilches, Santander) por su apoyo decidido a la realización de los experimentos iniciales exploratorios con hormonas en híbridos.
- A la empresa Colinagro por el suministro de los productos Hormonagro (ANA) y Acigib (AG₃) para los experimentos preliminares.
- A la empresa Indupalma Ltda. por la colaboración en el desarrollo de los estudios sobre viabilidad, germinación y dosis de polen, aspectos fundamentales de esta Tesis.
- A las empresas Guaicaramo y Hacienda La Cabaña S.A., por la financiación integral de la investigación. Y a sus ingenieros agrónomos Gustavo Adolfo Rosero Estupiñán, Libardo H. Santacruz A., Omaira Leguizamón Linares (Guaicaramo), Fredy Alexander López y Jorge Efraín Zambrano Rosero (Hacienda La Cabaña).
- A mis estudiantes –hoy ingenieros agrónomos– Ivón Ussa Leal, Mayra Alejandra Melo Bustos, Daniel David Rodríguez Rivera quienes como pasantes colaboraron en la ejecución de los experimentos preliminares que definieron los objetivos y tratamientos hormonales de la Tesis.
- A mis estudiantes –hoy ingenieras agrónomas– Deisy Jhoana Camayo Mosquera y Jéssica Alexandra Socha Castillo, cuyos Trabajos de Grado con el polen hicieron parte fundamental de esta Tesis.
- Al colega y compañero Mario Augusto García Dávila, por la asesoría y orientación en el diseño, análisis estadístico e interpretación de los resultados.
- A mi amiga Marzory Andrade Bernal, por su invaluable ayuda y paciencia en la consolidación general de los datos, procesamiento estadístico y organización final del documento digital.
- A mis compañeros de siempre Yolanda Rubiano Sanabria y Jaime Torres Bazurto, por la solidaridad, apoyo constante y sugerencias sobre el texto del documento.

Resumen

La investigación incluyó tres experimentos: 1) Viabilidad y germinación de polen del híbrido *OxG* (*Elaeis oleifera* Coarí x *Elaeis guineensis* La Mé) y sus progenitores. Se utilizó el diseño completamente al azar, cuatro repeticiones de cuatro placas Petri cada una. La viabilidad y germinación del polen híbrido Coarí x La Mé fueron significativamente menores que el de sus progenitores Coarí y La Mé, confirmando la androesterilidad que caracteriza a estos híbridos interespecíficos. 2) Influencia de dosis de polen en la producción de racimos y aceite de híbridos de palma *OxG* (*Elaeis oleifera* Kunth Cortes x *Elaeis guineensis* Jacq.). El diseño fue completamente al azar (DCA), en arreglo factorial 2x5, factor 1 dos híbridos (Coarí x La Mé y (Sinú x Coarí) x La Mé), factor 2 cinco dosis de polen (0, 0,01, 0,05, 0,1, 0,15 g/inflorescencia), cuatro repeticiones y nueve inflorescencias/repetición. El mayor Fruit set se obtuvo con dosis de 0,1 g/inflorescencia, y el porcentaje de aceite/racimo fue superior con 0,05 g/inflorescencia y menor con 0,01 g/inflorescencia. 3) Inducción y desarrollo de frutos con hormonas en híbridos *OxG* de palma de aceite. Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA), ocho tratamientos, tres épocas de aplicación (pre-antesis, antesis, pos-antesis), cuatro repeticiones, y cuatro inflorescencias/repetición. ANA (ácido α -naftalenacético) y AG₃ (ácido giberélico) indujeron partenocarpia en los frutos del racimo del híbrido “Alto Oleico” y no alteraron el perfil de ácidos grasos del aceite de los frutos. Como trabajo pionero sobre uso de hormonas en híbridos *OxG*, se demostró que la aplicación de ANA y AG₃ son alternativas viables para uso complementario en la polinización asistida de híbridos.

Palabras clave: fitohormonas, polinización, partenocarpia, híbridos interespecíficos

Abstract

The research included three experiments: 1) Pollen viability and germination in *OxG* hybrid (*Elaeis oleifera* "Coarí" x *Elaeis guineensis* La Mé) and his parents. The experimental design was completely random, four replications of four Petri dishes each one. The viability and germination of the "Coarí" x La Mé hybrid pollen were significantly lower than that of the parents "Coarí" and La Mé, confirming the male sterility that characterizes these interspecific hybrids. 2) Influence of pollen doses on the production of bunchs and oil in *OxG* palm hybrids (*Elaeis oleifera* H.B.K. Cortes x *Elaeis guineensis* Jacq.). The design was completely randomized (DCA), in factorial arrangement 2x5, factor 1 two hybrids (Coarí x La Mé and (Sinú x Coarí) x La Mé), factor 2 five doses of pollen (0, 0.01, 0.05, 0.1, 0.15 g/inflorescence), four replications and nine inflorescences/replication. The largest Fruit set was obtained with a dose of 0.1 g/inflorescence, and the percentage of oil bunch was higher with 0.05 g/inflorescence and lower with 0.01 g/inflorescence. 3) Induction and development of fruits with hormones in oil palm *OxG* hybrids. The design was completely randomized (CRD), eight treatments, three times of application (pre-anthesis, anthesis, post-anthesis), four replications, and four inflorescences/replication. NAA (α -naphthaleneacetic acid) and GA₃ (gibberellic acid) induced parthenocarpy in the fruits of the "High Oleic" hybrid bunch and did not alter the fatty acid profile of the oil in the fruits. As a pioneering work on the use of hormones in *OxG* hybrids, was demonstrated that the application of NAA and GA₃ are viable alternatives for complementary use in the assisted pollination of hybrids.

Keywords: phytohormones, pollination, parthenocarpy, interspecific hybrids

Contenido

	Pág.
Resumen.....	IX
Lista de figuras.....	XIII
Lista de tablas.....	XIV
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	XV
Introducción	1
1. Capítulo 1. Viabilidad y germinación de polen del híbrido OxG (<i>Elaeis oleifera</i> Coarí x <i>Elaeis guineensis</i> La Mé) y sus progenitores.....	31
1.1 Introducción.....	32
1.2 Materiales y métodos	33
1.2.1 Localización y material vegetal.....	33
1.2.2 Viabilidad	34
1.2.3 Germinación.....	35
1.2.4 Diseño y análisis estadístico	35
1.3 Resultados y discusión	36
1.3.1 Viabilidad	36
1.3.2 Germinación.....	37
1.4 Bibliografía.....	40
2. Capítulo 2. Influencia de dosis de polen en la producción de racimos y aceite de híbridos OxG (<i>Elaeis oleifera</i> Kunth Cortes x <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.)	63
2.1. Introducción.....	64
2.2. Materiales y métodos	65
2.2.1 Localización y material vegetal.....	65
1.2.2 Diseño y análisis estadístico	65
1.2.3 Polinización.....	66
2.3. Resultados y discusión	68
2.3.1. Peso racimo	68
2.3.2. Frutos/racimo, potencial de aceite	68
2.3.3. Fruit set.....	70

2.4. Bibliografía	72
3. Capítulo 3. Inducción y desarrollo de frutos con hormonas en híbridos <i>OxG</i> de palma de aceite (<i>Elaeis oleifera</i> Kunth Cortes x <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.)	95
3.1. Introducción	95
3.2. Materiales y métodos	97
3.2.1. Experimento 1. Comparación de ANA y AG ₃ en la inducción y desarrollo de frutos del híbrido <i>OxG</i> Coarí x La Mé.	97
3.2.2. Experimento 2. Manejo de ANA y AG ₃ en la polinización asistida del híbrido <i>OxG</i> Coarí x La Mé.	99
3.3. Resultados y discusión	100
3.3.1. Experimento 1	100
3.3.2. Experimento 2	110
4. Conclusiones y recomendaciones	141
A. Anexo: Análisis de suelos del lote experimental (bloque 332 parcela 5.6) en la plantación “Guaicaramo” (Barranca de Upía, Meta)	143
B. Anexo: Condiciones climáticas en la plantación “Guaicaramo” (Barranca de Upía, Meta) durante el periodo experimental (enero 2016 y julio 2017)	145
C Anexo: Análisis de suelos del lote experimental (lote 13, finca Yalconia) en la plantación “Campoalegre” (Paratebueno, Cundinamarca)	147
D. Anexo: Condiciones climáticas durante el periodo experimental en la plantación “Campoalegre” (Paratebueno, Cundinamarca) (diciembre 2016 y noviembre 2017)	149

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Estadios de desarrollo de la inflorescencia masculina para la recolección del polen (Hormaza et al., 2012).....	34
Figura 1-2: Observación en microscopio de la viabilidad del polen por tinción con acetocarmín. Los granos de polen viables (V) están teñidos de rojo y los no viables (NV) sin teñir y translúcidos.	36
Figura 1-3: Viabilidad y germinación comparativa del polen de palma americana “Coarí” (<i>Elaeis oleifera</i>) y palma africana La Mé (<i>Elaeis guineensis</i>) con del híbrido interespecifico “Coarí” x La Mé. Barras con letras distintas para cada variable (viabilidad o germinación) son estadísticamente diferentes con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$)......	37
Figura 1-4: Observación en microscopio de la germinación de granos de polen del híbrido Coarí x La Mé y sus progenitores. Los granos de polen germinados desarrollan el tubo polínico.....	38
Figura 2-1: Estadios de desarrollo de la inflorescencia femenina. A) preantesis II (estadio fenológico 602), B) inflorescencia aislada, C) inflorescencia embolsada, D) antesis (Estado fenológico 607), E) Polinización, F) racimo maduro.....	67
Figura 2-2: Efecto de la dosis de polen sobre el PR en dos híbridos <i>OxG</i> de palma de aceite. Barras con letras distintas en cada híbrido son estadísticamente diferentes con la prueba de Duncan ($p < 0,05$)......	68
Figura 2-3: Efecto de la dosis de polen sobre el Fruit set en dos híbridos <i>OxG</i> de palma de aceite. Barras con letras distintas en cada híbrido son estadísticamente diferentes con la prueba de Duncan ($p < 0,05$)......	71
Figura 3-1: Efecto de ANA y AG ₃ sobre la cantidad de los ácidos grasos del aceite de mesocarpio de frutos normales (FN) y partenocárpicos (FP) del híbrido <i>OxG</i> (Coarí x La Mé).	109

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Efecto de la dosis de polen (g/inflorescencia) sobre los frutos normales (FN), partenocárpicos (FP) y potencial de aceite del racimo (PA) en dos híbridos <i>OxG</i> de palma de aceite. _____	69
Tabla 3-1: Tratamientos experimento 1. _____	98
Tabla 3-2: Tratamientos experimento 2. _____	100
Tabla 3-3: Efecto de dosis de hormonas sobre los componentes del racimo: PR peso racimo, FN frutos normales, FP frutos partenocárpicos, FA frutos abortados. _____	101
Tabla 3-4: Efecto de dosis de hormonas sobre el potencial de aceite del racimo (PA), tasa real de extracción de aceite del racimo (TEA) y aporte de los frutos normales (ARFN) y partenocárpicos (ARFP) al aceite del racimo. _____	105
Tabla 3-5: Grado de asociación entre los componentes del racimo (PR peso, FN frutos normales, FP frutos partenocárpicos, FA frutos abortados) y los de rendimiento de aceite/racimo (ARFN aporte aceite frutos normales, ARFP aporte aceite frutos partenocárpicos, PA potencial de aceite, TEA tasa real extracción de aceite). _____	106
Tabla 3-6: Efecto de auxina (ANA) y ácido giberélico (AG_3) sobre el perfil de ácidos grasos (% p/p) del aceite del mesocarpio de frutos normales (FN) y partenocárpicos (FP) del híbrido <i>OxG</i> (Coarí x La Mé). _____	108
Tabla 3-7: Efecto de dosis de hormonas sobre los componentes del racimo (PR peso racimo, FN frutos normales, FP frutos partenocárpicos, FA frutos abortados). _____	112
Tabla 3-8: Efecto de dosis de hormonas sobre el potencial de aceite del racimo (PA), tasa real de extracción de aceite del racimo (TEA) y aporte de los frutos normales (ARFN) y partenocárpicos (ARFP) al aceite del racimo. _____	114

Lista de Símbolos y abreviaturas

Esta sección es opcional, dado que existen disciplinas que no manejan símbolos y/o abreviaturas. Se incluyen símbolos generales (con letras latinas y griegas), subíndices, superíndices y abreviaturas (incluir sólo las clases de símbolos que se utilicen). Cada una de estas listas debe estar ubicada en orden alfabético de acuerdo con la primera letra del símbolo (en esta plantilla, el título del tipo de símbolo esta en letra Arial de 14 puntos y en negrilla). Para escribir la definición en las tablas, se puede usar la herramienta de referencia cruzada (para textos editados en Microsoft Word). A continuación se presentan algunos ejemplos.

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
A	Área	m^2	$\iint dx dy$
A_{BET}	Área interna del sólido	$\frac{m^2}{g}$	ver DIN ISO 9277
A_g	Área transversal de la fase gaseosa	m^2	Ec. 3.2
A_s	Área transversal de la carga a granel	m^2	Ec. 3.6
a	Coefficiente	1	Tabla 3-1

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
α_{BET}	Factor de superficie	$\frac{m^2}{g}$	$(W_{F,wat})(A_{BET})$
β_i	Grado de formación del componente i	1	$\frac{m_j}{m_{bm} \rho}$
γ	Wandhafbrenkwinkel (Stahlblech)	1	Sección 3.2
ε	Porosidad de la partícula	1	$1 - \frac{\rho_s}{\rho_w}$
η	mittlere Bettneigungswinkel (Stürzen)	1	Figura 3-1

Subíndices

Subíndice	Término
bm	Materia orgánica
DR	Dubinin-Radushkevich
E	Experimental

Superíndices

Superíndice	Término
n	Exponente, potencia

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>OxG</i>	Híbridos <i>Elaeis oleifera</i> x <i>Elaeis guineensis</i>
CxLM	Híbrido Coarí x La Mé
VIAP	Viabilidad del polen
GERP	Germinación del polen
ANA	ácido α -naftalenacético
AG ₃	ácido giberélico
RFF	Racimos de fruta fresca
FN	Frutos normales
FP	Frutos partenocárpicos
FA	Frutos abortados
FST	Fruit set
PA	Potencial de aceite del racimo
TEA	Tasa real extracción de aceite en planta
PAG	Perfil de ácidos grasos
AGS	Ácidos grasos saturados
AGI	Ácidos grasos insaturados

Introducción

La palma africana de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) pertenece a la familia *Arecaceae*, subfamilia *Arecoideae*, es originaria del Golfo de Guinea en África donde crece en formas silvestre y semisilvestre en los bordes de los bosques de galería (Corley & Tinker, 2009). Es la especie oleaginosa de mayor producción de aceite por hectárea (ha) en el mundo, y su desarrollo como sistema productivo agroindustrial comenzó en África y el Sudeste Asiático durante el periodo colonial con base en sus múltiples usos industriales y como alimento (Arias et al., 2012; Corley & Tinker, 2009; Murphy, 2014). Es uno de los cultivos de mayor importancia en el mundo, aporta el 30% de los aceites comestibles, es materia prima para la producción de biodiesel y genera ingresos para muchos países tropicales en desarrollo (Basiron, 2007; Carter et al., 2007; Syafiq et al., 2016). Las plantaciones de palma de aceite en el mundo se ubican en la franja de latitud entre 10°N y 10°S donde se cultiva en 42 países, en más de 12 millones de hectáreas que producen más de 45 millones de toneladas/año, particularmente en los países asiáticos, donde Malasia e Indonesia representan el 85% de la producción mundial. Colombia, con 1.270.000 toneladas de aceite crudo de palma, es el quinto productor mundial representando menos del 2% de esa producción y el mayor productor en América Latina (Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite. [Fedepalma], 2015). Es el cultivo de más rápido crecimiento en Colombia y en 2011 el área neta sembrada ascendió a 391.187 ha con un incremento de 182,5% en comparación con 1997, cuando el área sembrada fue de 138.457 ha (Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite. [Fedepalma], 2015; Henson et al., 2011). Hoy existen 500.000 hectáreas, aproximadamente, de las cuales 81% está en producción y 19% en desarrollo, sembradas en cuatro zonas (Norte, Oriental, Central y Suroccidental), 112 municipios y 18 departamentos, constituyendo una de las actividades agrícolas más prometedoras como eje para alcanzar el desarrollo nacional (Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite. [Fedepalma], 2015; Girón & Mahecha, 2015). Más del 90% del área palmera en Colombia corresponde al material Ténera (Dura x Pisífera), caracterizado por su alta producción de racimos de fruta fresca (> 25 t/ha/año) y tasa de extracción de aceite (19,6%) (Bastidas et al., 2007).

La palma americana de aceite (*Elaeis oleifera* H.B.K. Cortes) es originaria de varios países de suramérica y se ha constituido en un recurso genético estratégico para el desarrollo de la palmiticultura colombiana, por ser una fuente de características morfológicas y fisiológicas ventajosas como su adaptación a ecosistemas marginales para palma africana, larga duración de la cosecha, crecimiento lento, resistencia a plagas y enfermedades, aceite con alto contenido de ácidos grasos insaturados, y cantidades apreciables de carotenos y vitamina E (Bernal Niño, 2005). La palma americana es una fuente de variabilidad genética valiosa en los programas de mejoramiento para la producción de híbridos interespecíficos (*OxG*) comerciales (Meunier, 1991; Pelaez R. et al., 2010).

Los *OxG* son resultado del cruzamiento de *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* y comenzaron a ser estudiados en 1970 porque algunos cruzamientos mostraron resistencia a la enfermedad Pudrición del Cogollo (PC) y producciones superiores a 30 t de RFF/ha/año (Genty & Ujueta, 2013). Estos *OxG* son una alternativa valiosa para la producción de aceite por sus características de tolerancia a las plagas y enfermedades, aceptable producción de RFF, aceite de alta calidad (oleico 55%, linoleico 11%) y contenidos importantes de vitamina E total (tocotrienoles 980 ppm, tocoferoles 100 ppm) (Mozzon et al., 2013; Serna Mondragón & Pinilla Betancourt, 2015) y carotenos (1.375 - 1.628 ppm) (Choo & Nesaretnam, 2014; Pelaez R. et al., 2010; Rey Bolivar et al., 2003, 2004; Rivera et al., 2013; Rocha S. et al., 2006). En la última década, debido a la presencia de algunas enfermedades limitantes en los cultivos de *E. guineensis*, la siembra de los *OxG* ha aumentado considerablemente en América Latina por su resistencia parcial a la enfermedad PC causada por *Phytophthora palmivora* (Hormaza et al., 2012; Torres et al., 2010). Este incremento del área de siembra ha sido significativo en Colombia y Ecuador con tasas cercanas a 12% (Rivera et al., 2013). En 2011, se estimó que el 6,4% del área sembrada en Colombia estaba establecida con materiales *OxG*, correspondiente a 24.930 ha, de las cuales el 43% estaba sembrado en la Zona Oriental y el 17% en la Zona Suroccidental (Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite. [Fedepalma], 2015); también se resaltó que, en términos de proporción del área sembrada en cada zona, los *OxG* representaban una pequeña fracción en la Zona Oriental (7%), mientras que en la Suroccidental se evidenciaba un 27% del área sembrada con diferentes materiales *OxG* (Ruíz et al., 2015).

Las palmas *OxG* presentan una serie de particularidades que afectan su polinización natural como son la baja producción de inflorescencias masculinas, una baja viabilidad y carencia de olores y colores atrayentes del polen hacia los insectos polinizadores (Alvarado et al., 2000), la presencia de

barreras morfológicas en este material como lo son las brácteas pedunculares o espatas de la inflorescencia femenina (Corley & Tinker, 2009) y una fase de antesis irregular y lenta que causa espacios prolongados de polinización en la misma inflorescencia. Esta baja tasa de polinización se traduce en pocos frutos normales/racimo y mayor número de flores abortadas, variables de suma importancia en el rendimiento de aceite por hectárea. Para contrarrestar este problema, en las plantaciones de *OxG* se recurre a la práctica agronómica de polinización asistida cuyos costos son altos, dependiendo de los ciclos de polinización necesarios, lo cual incrementa los costos de producción y disminuye la rentabilidad de las plantaciones (Á. Sánchez Rodríguez et al., 2011). La práctica de polinización asistida en las plantaciones de *OxG* se incrementa por el empleo de mano de obra especializada, lo cual incide notablemente en los costos de producción del cultivo y, en algunas regiones, es difícil conseguir personal capacitado. El costo de la polinización depende del rendimiento de los operarios en la labor, del número de inflorescencias en antesis y del valor del jornal en la zona de producción (Castiblanco et al., 2013; Mosquera et al., 2016; Ruíz et al., 2015). No obstante, hay que considerar que la polinización asistida tiene importancia social relevante para las zonas de producción palmera porque genera oportunidades de trabajo para las comunidades, principalmente de mujeres cabeza de familia.

Varios estudios sobre el desarrollo fisiológico del racimo de los *OxG* han mostrado que los frutos tienen problemas de llenado y maduración desuniformes debidos, probablemente, a la apertura asincrónica de las flores o a una polinización insuficiente (González et al., 2013; Hormaza et al., 2012). Se considera que la polinización natural de estos *OxG* es escasa, debido a la baja emisión de inflorescencias masculinas con poca cantidad de polen (5 a 10 g/inflorescencia) “carente de olor atractivo para el insecto polinizador *Elaeidobius kamerunicus*” y de baja viabilidad (2 a 25%) comparada con el polen de *E. guineensis* (60 a 100%) (Hormaza Martínez et al., 2010). Además, las inflorescencias femeninas están cubiertas por espatas fibrosas que dificultan la entrada del polen y del polinizador, lo cual se traduce en un porcentaje considerable de racimos con frutos abortados y la consecuente reducción del rendimiento del cultivo. La polinización natural de los *OxG* tradicionales, a excepción de los híbridos Taisha (*E. oleifera* Taisha x *E. guineensis* La Mé), está limitada por la persistencia de las espatas que cubren la inflorescencia femenina durante la antesis (Alvarado et al., 2013; Barba & Baquero, 2013). Por estas razones, es necesario realizar una polinización asistida con el fin de garantizar que las flores femeninas en antesis reciban suficiente polen para un óptimo desarrollo de los frutos. La polinización asistida se utiliza para la obtención de racimos con mayor número de frutos normales y partenocárpicos que garantizan tasas altas de extracción de aceite/racimo (Prada & Romero, 2012). No obstante, existe poca evidencia

científica sobre los criterios de la polinización asistida y su efecto en el desarrollo de los frutos partenocárpicos del racimo.

Una de las características principales de los RFF de *OxG* es la presencia de más frutos partenocárpicos (rojos y blancos) en comparación con los frutos normales. El color y porcentaje de aceite de los frutos partenocárpicos rojos son similares a los de los frutos normales con semilla, mientras que los frutos partenocárpicos blancos o abortados no tienen semilla ni aceite (González et al., 2013; Yáñez et al., 2006). La ventaja de los frutos partenocárpicos rojos de los *OxG* es que desarrollan y maduran como los frutos normales, pero contienen más aceite debido a su mayor proporción de mesocarpio que puede alcanzar el 98% (Bastidas et al., 2007; Preciado Q. et al., 2011a). Además, la contribución de los frutos partenocárpicos rojos al % total de aceite del racimo es mayor (20 – 50%) que el de los frutos normales (Preciado Q. et al., 2011b).

En sentido estricto, la **partenocarpia** (griego. *Parthenos*, virgen *karpos*, fruto) es definida como el proceso mediante el cual se desarrollan frutos sin semilla en presencia o ausencia de la polinización y fecundación (Ingrosso et al., 2011; Mesejo Conejos, 2012; Quijada et al., 1999; Vardi et al., 2000, 2008). Normalmente, para el desarrollo de frutos maduros es necesaria la fertilización del óvulo en el ovario aunque, en algunas especies de plantas, los frutos se forman y maduran sin la fertilización del óvulo y sin desarrollar semillas; éstos frutos se denominan partenocárpicos y son comunes en palma de aceite, bananos, plátanos, higos, peras, manzanas, duraznos, cerezas, ciruelas y cítricos (Azcón-Bieto & Talón, 2013; Bishop et al., 2015; Pallardy, 2008). Algunos tipos de partenocarpia requieren la polinización y otros no, como en el caso de cítricos y bananos. En frutales como cerezas y peras, los frutos partenocárpicos ocurren porque el embrión aborta antes que los frutos maduren. En otras especies, la polinización estimula el desarrollo de los frutos, pero estos maduran sin que el tubo polínico alcance el óvulo (Pallardy, 2008). En general, el fenómeno de partenocarpia es deseado en especies frutales, donde los frutos sin semillas tienen un mayor valor comercial (Montalt Resurrección, 2009).

Se pueden considerar dos tipos de partenocarpia: **estimulada** y **autónoma**. La partenocarpia **estimulada** es la que requiere polinización del ovario, pero éste no es fecundado, por lo cual el fruto final no contiene semillas (Montalt Resurrección, 2009). Los factores que condicionan esto, pueden ser de origen endógeno o exógeno; así, la polinización, la germinación del grano de polen y el desarrollo del tubo polínico (sin que en ningún caso se alcance la fecundación) constituyen estímulos suficientes para que se inicie el desarrollo del ovario en ausencia de semillas (Mesejo

Conejos, 2012; Quijada et al., 1999). La partenocarpia **autónoma** es el desarrollo del ovario sin ningún estímulo externo; en los dos tipos, el crecimiento del fruto es consecuencia de la síntesis de hormonas en los tejidos del ovario. La producción de frutos partenocárpicos está sujeta a la capacidad de acumular niveles suficientes de fitohormonas en el ovario para que se desarrolle el fruto sin necesidad de que formen semillas, denominada “aptitud partenocárpica” (Montalt Resurrección, 2009), particularidad que es habitual en especies tropicales (plátano, banano, piña), frecuente en especies subtropicales (cítricos), de climas templados (vid, peral, manzano) y rara en otras como melocotonero, ciruelo y cerezo en las que los frutos no fecundados caen o se desarrollan poco (Azcón-Bieto & Talón, 2013). La partenocarpia puede ser inducida con la aplicación manual de polen (Azcón-Bieto & Talón, 2013; Mesejo et al., 2008) o con aplicaciones exógenas de auxinas, giberelinas y citoquininas, hormonas vegetales que han mostrado ser capaces de promover el cuajamiento y crecimiento de los frutos partenocárpicos (Fos et al., 2000, 2001; Patterson et al., 1993). Varias hormonas se han usado con éxito en plantas de tomate, cítricos, uvas, cucurbitáceas, manzana, pera y otras especies frutales, en las cuales la partenocarpia genera valor comercial a los frutos (Crane, 1964; Gorguet et al., 2005; Gustafson, 1960; Hedden & Hoad, 1985; Pharis & King, 1985; Talón et al., 1990).

Las fitohormonas son sustancias orgánicas sintetizadas por las plantas que tienen la capacidad de afectar los procesos fisiológicos en concentraciones más bajas que los nutrientes o las vitaminas (Azcón-Bieto & Talón, 2013; Bishop et al., 2015). Las **auxinas** y **giberelinas** (AG₃) son las más destacadas por sus efectos sobre el crecimiento y desarrollo en gran variedad de plantas (Bishop et al., 2015). Las **auxinas** son derivadas del aminoácido triptófano y son sintetizadas en meristemas de tejidos jóvenes en expansión, siendo la más conocida el ácido 3-indol acético (AIA) (Crozier et al., 2000). Las auxinas promueven división y expansión celulares (Bennett & Leyser, 2014; Fishel, 2006) y están implicadas en la dominancia apical, elongación de brotes, desarrollo de raíces adventicias, xilogénesis (desarrollo del xilema) y tropismos (Marschner, 2012). A comienzos de 1950 se demostró el papel del AIA en la función de vertedero de los frutos de fresa, al observarse que la remoción de las semillas de los frutos en desarrollo causó la detención del crecimiento de estos (Nitsch, 1950), y que la aplicación externa de AIA a esos frutos sin semillas restauró su tasa de crecimiento, indicando que el volumen de flujo vía floema hacia los frutos en desarrollo depende del AIA producido en las semillas (Marschner, 2012). Las **giberelinas** son un grupo de hormonas diterpenoides tetracíclicos endógenas de las plantas, sintetizadas en varios órganos y, en general, promueven transiciones de desarrollo y crecimiento (Leyser & Day, 2015). Por la vía de los terpenoides se produce el esqueleto de carbono que origina más de 100 estructuras

de giberelinas en plantas (Crozier et al., 2000; Yamaguchi, 2008) de las cuales se han identificado y caracterizado más de 130 diferentes pero pocas (AG₁, AG₃, AG₄ y AG₅) tienen funciones bioactivas como hormonas. Las giberelinas son las hormonas más conocidas por su influencia en la elongación del tallo y el crecimiento de las hojas, pero también afectan otros procesos de desarrollo en gran variedad de plantas, como el estímulo del crecimiento de frutos sin fertilización de los óvulos (partenocarpia), existiendo una correlación entre los niveles de giberelina en ovarios polinizados y el grado de partenocarpia observado (Bishop et al., 2015). La regulación del crecimiento de los frutos depende, en gran medida, de las hormonas sintetizadas en las semillas y, en particular, de las giberelinas. En muchas especies se ha demostrado que el número y tamaño de frutos que cuajan se correlacionan con el número de semillas. En los frutos normales, la ausencia de polinización y de semillas detiene el crecimiento del fruto y provoca su abscisión. En guisante, pera, fresa y tomate, por ejemplo, la aplicación de AG₃ a frutos no polinizados suple los efectos de la polinización y las semillas y estimula el crecimiento partenocárpico del fruto (Azcón-Bieto & Talón, 2013).

Algunas hormonas están involucradas en el control de la expresión sexual de varios cultivos perennes y hay reportes que indican niveles de auxina mayores en inflorescencias femeninas que masculinas y que la aplicación exógena de auxinas puede inducir mayor floración femenina en *Elaeis guineensis*, mientras que favorecen la floración masculina en *Phoenix dactylifera* (Corley, 1976). En palma *Elaeis guineensis* la aplicación de la hormona Etephon, que libera etileno en los tejidos, retrasó la floración mientras que el AG₃ produjo una floración femenina precoz (Hartley, 1988).

Los estudios sobre el efecto de la aplicación de hormonas para la formación de frutos en palma de aceite son escasos. Los primeros trabajos sobre el tema, indicaron que la auxina 2,4,5-TP (ácido 2,4,5, triclora fenoxipropiónico) era efectiva para inducir partenocarpia en las inflorescencias de palmas Pisíferas, usualmente estériles (Menéndez & Black, 1963; Sparnaaij, 1962). De manera posterior, (Thomas et al., 1973) reportaron la inducción de partenocarpia por la aplicación exógena a palmas Dura y Ténera de los reguladores de crecimiento ácido 2,4,5 triclora-fenoxipropiónico (2,4,5-TP), ácido 2,4,5 triclora-fenoxiacético (2,4,5-T), ácido 2,4 diclora-fenoxiacético (2,4-D), ácido α -naftalenacético (ANA), ácido 3 indolacético (AIA), ácido giberélico (AG₃), ácido 4 clora-fenoxiacético (4-CPA), ácido 2 clora-fenoxiacético (2-CPA), ácido indolbutírico (AIB), ácido indolpropiónico (AIP). De estos, 2,4,5-TP indujo partenocarpia completa, ANA, 2-CPA, 2,4-D, 2,4,5-T, AIB, AG₃, 4-CPA y AIP mostraron 20% de inducción, mientras que AIA fue inefectivo en

la inducción de la partenocarpia. Así, estos autores concluyeron que el desarrollo de frutos partenocárpicos en estos tipos de palmas era fácil de inducir con hormonas. Por su parte, (Corley, 1973, 1976) observó que el ANA favoreció la emisión de inflorescencias femeninas, aunque su efecto solo apareció 24 meses después del tratamiento. La aplicación accidental de varios herbicidas también puede inducir la partenocarpia de frutos que abortan con posterioridad (Khairudin & Teoh, 1988; Wan, 1987). Los frutos partenocárpicos formados por la aplicación exógena de fitohormonas, son significativamente diferentes de los producidos por la polinización natural. En *E. guineensis* los frutos partenocárpicos inducidos por auxinas tienen menor contenido de aceite que los normales y, desde el punto de vista económico, son indeseables (Corley, 1976). En híbridos *OxG* la aplicación de ANA y AG₃ a inflorescencias en antesis aumenta el desarrollo de los frutos (Prieto et al., 2015).

El crecimiento, desarrollo y la producción de los cultivos puede incrementarse mediante la manipulación de las concentraciones internas de hormonas (Marschner, 2012), lo cual se ha traducido en uso a gran escala de bioestimulantes de síntesis química por su impacto económico positivo en la agricultura (Grossmann, 1990; Nitsche et al., 1985; Rao et al., 2002; Salisbury & Ross, 1985, 1992). Por estas razones, la aplicación de hormonas en floración o pos-floración, principalmente AG₃ y ANA, podría ser una alternativa para aumentar la cantidad y calidad de los frutos partenocárpicos en los *OxG* y reducir la frecuencia y los costos de la polinización asistida haciendo más rentable y sostenible las plantaciones.

Para alcanzar los objetivos de esta investigación se planearon y ejecutaron tres experimentos en el híbrido *OxG* “Alto Oleico”. En el primer experimento se estudiaron las relaciones y diferencias funcionales entre la viabilidad y germinación del polen del *OxG* y sus progenitores. En el segundo, se evaluó la eficiencia de dosis de polen en la producción de RFF y aceite del *OxG*. En el tercero, se estudiaron los efectos de la aplicación exógena de ANA y AG₃ sobre la producción de RFF y calidad del aceite del *OxG*.

Bibliografía

Acciarri, N., Restaino, F., Vitelli, G., Perrone, D., Zottini, M., Pandolfini, T., Spena, A., & Rotino, G.

(2002). Genetically modified parthenocarpic eggplants: Improved fruit productivity under

- both greenhouse and open field cultivation. *BMC Biotechnology*, 2, 1-7.
<https://bmcbiotechnol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1472-6750-2-4>
- Alvarado, A., Bulgarelli, B., & Moya, B. (2000). Germinación del polen en poblaciones derivadas de un híbrido entre *Elaeis guineensis* Jacq. Y *E. oleifera* HBK Cortés. *ASD Oil Palm Papers*, 20, 35-36.
- 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. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10689>
- American Oil Chemists' Society [AOCS]. (1994). *Official and Recommended Methods of the American Oil Chemists Society*.
- Andersson, S. (2000). *The cost of flowers in Nigella degenii inferred from flower and perianth removal experiments*. 161(6), 903-908. <https://doi.org/10.1086/317558>
- Araméndiz-Tatis, H., Cardona-Ayala, C., & Jarma-Orozco, A. (2013). Eficacia de dos métodos para evaluar la visibilidad del polen de Berenjena (*Solanum melogena* L. cv. Lila Criolla). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2), 351-358.
<https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n2.2013.907>
- Arias, D., Montoya, C., Rey, L., & Romero, H. (2012). Genetic similarity among commercial oil palm materials based on microsatellite markers. *Agronomía Colombiana*, 30(2), 188-195.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/29152/38937>
- Arnaud, F. (1980). Fertilité pollinique de l'hybride *Elaeis melanococca* x *E. guineensis* et des especes parentales. *Oléagineux*, 35(3), 121-129.
- Awad, M. A., & Al-Qurashi, A. D. (2012). Gibberellic acid spray and bunch bagging increase bunch weight and improve fruit quality of «Barhee» date palm cultivar under hot arid

conditions. *Scientia Horticulturae*, 138, 96-100.

<https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2012.02.015>

Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw-Hill.

Barba, J., & Baquero, Y. (2013). Híbridos OxG obtenidos a partir de oleíferas Taisha Palmar del Río (PDR), Ecuador. Variedad -PDR (Taisha x Avros). *Revista Palmas*, 34, 315-325.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10690>

Basiron, Y. (2007). Palm oil production through sustainable plantations. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109(4), 289-295. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200600223>

Basri Wahid, M., Akmar A., S. N., & Henson, I. E. (2005). Oil Palm—Achievements and Potential.

Plant Production Science, 8(3), 288-297. <https://doi.org/10.1626/pps.8.288>

Bastidas P., S., Betancourth, C., Preciado, C. A., Peña, E., & Reyes, R. (2011). Predicción y control

de la cosecha en el híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* en la zona palmera occidental de Colombia. II. Determinación del ciclo de cosecha para obtener racimos con alto contenido de aceite. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 12(1), 13-20.

https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:211

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*. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 8(1), 5-11.

https://doi.org/10.21930/rcta.vol8_num1_art:77

Ben-Cheikh, W., Perez-Botella, J., Tadeo, F. R., & Primo-Millo, E. (1997). Pollination Increases Gibberellin Levels in Developing Ovaries of Seeded Varieties of Citrus. *Plant Physiology*, 14(2), 557-564. <https://doi.org/10.1104/pp.114.2.557>

Bennett, T., & Leyser, O. (2014). The auxin question: A philosophical overview. En *Auxin and its Role in Plant Development* (pp. 3-19). https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1526-8_1

- Bernal Niño, F. (2005). *El cultivo de la palma de aceite y su beneficio*. Fedepalma, Fedepalma.
- Bettiol Neto, J. E., Del Nero, M., Kavati, R., & Pinto-Maglio, C. A. F. (2009). Viabilidade e conservação de pólen de três anonas comerciais. *Bragantia*, 68(4), 825-837.
<https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000400002>
- Binder, B. M., & Patterson, S. E. (2009). Ethylene-dependent and -independent regulation of abscission. *Stewart Postharvest Review*, 5(1), 1-10. <https://doi.org/10.2212/spr.2009.1.1>
- Bishop, G., Sakakibara, H., Seo, M., & Yamaguchi, S. (2015). Biosynthesis of hormones. En *Biochemistry and Molecular Biology of Plants* (2.^a ed., pp. 769-833). American Society of Plant Physiologists.
- Bitá, C. E., & Gerats, T. (2013). Plant tolerance to high temperature in a changing environment: Scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Frontiers in Plant Science*, 4(273), 1-18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00273>
- Breure, C. J., & Menendez, T. (1990). The Determination of bunch yield components in the development of inflorescences in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Experimental Agriculture*, 26(1), 99-115. <https://doi.org/10.1017/S0014479700015441>
- Carter, C., Finley, W., Fry, J., Jackson, D., & Willis, L. (2007). Palm oil markets and future supply. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109(4), 307-314.
<https://doi.org/10.1002/ejlt.200600256>
- Cassiday, L. (2016). Una controversia de peso: Cambiando paradigmas sobre las grasas saturadas. *Revista Palmas*, 37(4), 41-53.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11962>
- Castiblanco, S., Fontanilla, C., Santacruz, L., Rosero, G., & Mosquera, M. (2013). Comportamiento de los costos y beneficios de los materiales Coari x La Mé e IRHO 1001 en condiciones de

- Guaicaramo S.A. *Revista Palmas*, 34(4), 33-45.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10934>
- Cayón, G. (1998). *Aspectos fisiológicos y bioquímicos de la maduración de los frutos de la palma de aceite (Elaeis guineensis Jacq.)*. 294-306.
- Chaves, G., Ligarreto-Moreno, G. A., & Cayon-Salinas, 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 Agronomica*, 67(1), 168-176. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n1.62028>
- Choo, Y., & Nesaretnam, K. (2014). Research advancements in palm oil nutrition. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(10), 1301-1315.
<https://doi.org/10.1002/ejlt.201400076>
- Combres, J. C., Pallas, B., Rouan, L., Mialet-Serra, I., Caliman, J. P., Braconnier, S., Soulié, J. Ch., & Dingkuhn, M. (2013). Simulation of inflorescence dynamics in oil palm and estimation of environment-sensitive phenological phases: A model based analysis. *Functional Plant Biology*, 40(3), 263-279. <https://doi.org/10.1071/FP12133>
- Corley, R. H. V. (1973). Oil palm physiology: A review. En *Adv. Oil Palm Cultivation* (pp. 37-51).
- Corley, R. H. V. (1976). *Inflorescence abortion and sex differentiation*. 1, 37-54.
- Corley, R. H. V., & Breure, C. J. (1992). Fruiting Activity, Growth and Yield of Oil Palm. I. Effects of Fruit Removal. *Experimental Agriculture*, 28(1), 99-109.
<https://doi.org/10.1017/S0014479700023048>
- Corley, R. H. V., & Breure, C. J. (1994). Actividad de fructificación, crecimiento y rendimiento de la palma de aceite: I. Efectos de la remoción de frutos. *Revista Palmas*, 15(3), 41-49.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/444>

- Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2009). *La palma de aceite*. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite. [Fedepalma].
- Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2016). *The oil palm* (5.^a ed.). John Wiley & Sons.
- Crane, J. C. (1964). Growth substances in fruit setting and development. *Annual Review of Plant Physiology*, 15, 303-326. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.15.060164.001511>
- Crozier, A., Kamiya, Y., Bishop, G., & Yokota, T. (2000). Biosynthesis of hormones and elicitor molecules. En *Biochemistry and Molecular Biology of Plants* (pp. 850-929). American Society of Plant Physiologists.
- Dafni, A., & Firmage, D. (2000). *Pollen viability and longevity: Practical, ecological and evolutionary implications*. 222, 113-132. <https://doi.org/10.1007/bf00984098>
- Dempsey, W. H. (1962). *Pollen Tube Growth in vivo as a Measure of Pollen Viability*. 138(3538), 436-437. <https://doi.org/10.1126/science.138.3538.436>
- Doaigey, A. R., Al-Whaibi, M. H., Siddiqui, M. H., Al Sahli, A. A., & El-Zaidy, M. E. (2013). Effect of GA3 and 2,4-D foliar application on the anatomy of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seedling leaf. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20(2), 141-147. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.12.001>
- Dorcey, E., Urbez, C., Blázquez, M. A., Carbonell, J., & Perez-Amador, M. A. (2009). *Fertilization-dependent auxin response in ovules triggers fruit development through the modulation of gibberellin metabolism in Arabidopsis*. 58, 318-332. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03781.x>
- El-Kosary, S. (2009). Effect of NAA, GA3 and cytophex spraying on Samany and Zaghloul date palm yield, fruit retained and characteristics. *Journal of plant production*, 34(4), 3453-3468. <https://doi.org/10.21608/JPP.2009.117168>

Engels, C., Kirkby, E., & White, P. (2012). Mineral Nutrition, Yield and Source-Sink Relationships.

En *Mineral Nutrition of Higher Plants* (pp. 85-131). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00005-4>

Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite. [Fedepalma]. (2015). *La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo* (Anuario Estadístico, p. 173).

<https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

Fernández-Escobar, R., Gómez-Valledor, G., & Rallo, L. (1981). In vitro pollen germination in olive cultivars. *Anales de la Estación Experimental de Aula Dei*, 15, 261-272.

Fishel, F. M. (2006). *Plant Growth Regulators. Document PI-139, Pesticide Information Office, Florida Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida.*

Fos, M., Nuez, F., & Garcia-Martinez, J. L. (2000). The gene pat-2, which induces natural parthenocarpy, alters the gibberellin content in unpollinated tomato ovaries. *Plant Physiology*, 122(2), 471-480. <https://doi.org/10.1104/pp.122.2.471>

Fos, M., Proaño, K., Nuez, F., & García-Martínez, J. L. (2001). Role of gibberellins in parthenocarpic fruit development induced by the genetic system pat-3/pat-4 in tomato. *Physiologia Plantarum*, 111(4), 545-550. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1110416.x>

Gaaliche, B., Majdoub, A., Trad, M., & Mars, M. (2013). Assessment of pollen viability, germination, and tube growth in eight Tunisian caprifig (*Ficus carica* L.) cultivars. *ISRN Agronomy*, 2013, 1-4. <https://doi.org/10.1155/2013/207434>

García, J. A., & Yáñez, E. (2000). Aplicación de la metodología alterna para análisis de racimos y muestreo de racimos en tolva. *Revista Palmas*, 21, 303-311.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/799>

- Genty, P., & Ujueta, M. (2013). *Relatos sobre el híbrido interespecífico de palma de aceite OxG - Coarí x La Mé: Esperanza para el trópico*. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite [Fedepalma].
- Girón, E., & Mahecha, X. (2015). Análisis descriptivo de la evolución de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia a partir de los censos palmeros de 1997 y 2011. *Revista Palmas*, 36(2), 13-25.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11074>
- Godefroid, S., Van de Vyver, A., & Vanderborght, T. (2010). Germination capacity and viability of threatened species collections in seed banks. *Biodiversity and Conservation*, 19(5), 1.365-1.383. <https://doi.org/10.1007/s10531-009-9767-3>
- González, D. A., Cayón, G., López, J. E., & Alarcón, W. H. (2013). Development and maturation of fruits of two Indupalma OxG hybrids (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*). *Agronomía Colombiana*, 31(3), 343-351.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/38213/43576>
- Goodwin, P. B. (1978). Phytohormones and fruit growth. En *Phytohormones and Related Compounds: A Comprehensive Treatise* (pp. 175-216). Elsevier.
- Gorguet, B., van Heusden, A. W., & Lindhout, P. (2005). Parthenocarpic fruit development in tomato. *Plant Biology*, 7(2), 131-139. <https://doi.org/10.1055/s-2005-837494>
- Grossmann, K. (1990). Plant growth retardants as tools in physiological research. *Physiologia Plantarum*, 78(4), 640-648. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1990.tb05254.x>
- Gustafson, F. G. (1960). Influence of gibberellic acid on setting and development of fruits in tomato. *Plant Physiol*, 35(4), 521-523. <https://doi.org/10.1104/pp.35.4.521>

- Haniff, H., & Rosland, M. D. (2002). Fruit set and oil palm bunch components. *Journal of Oil Palm Research*, 14(2), 24-33. <http://jopr.mpob.gov.my/wp-content/uploads/2013/09/jopr14dec2002-haniff1.pdf>
- Hardon, J. J., & Tan, G. Y. (1969a). Interspecific hybrids in the genus *Elaeis* I. crossability, cytogenetics and fertility of F1 hybrids of *E. guineensis* x *E. oleifera*. 18, 372-379. <https://doi.org/10.1007/BF00397784>
- Hardon, J. J., & Tan, G. Y. (1969b). Interspecific hybrids in the genus *Elaeis* I. crossability, cytogenetics and fertility of F1 hybrids of *E. guineensis* x *E. oleifera*. *Euphytic*, 18, 372-379. <https://doi.org/10.1007/BF00397784>
- Hardon, J. J., & Turner, P. D. (1967). Observations on natural pollination in commercial plantings of oil palm (*Elaeis guineensis*) in Malaysia. *Experimental Agriculture*, 3(2), 105-116. <https://doi.org/10.1017/S0014479700021864>
- Hartley, C. W. S. (1988). *The oil palm*. Longmans Green.
- Hedden, P., & Hoad, G. V. (1985). Hormonal regulation of fruit growth and development. Brit. *Plant Growth Regulator Group Monogr*, 12, 211-225.
- Hedhly, A. (2011). Sensitivity of flowering plant gametophytes to temperature fluctuations. *Expert Opinion on Biological Therapy*, 74, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.03.016>
- Henson, I. E. (1990). Retardation of inflorescence growth in oil palm. *Transactions of the Malaysian Society of Plant Physiology*, 1, 207-2014.
- Henson, I. E., Ruiz, R., & Romero, H. M. (2011). The growth of the oil palm industry in Colombia. *Journal of Oil Palm Research*, 23(3), 1.121-1.128. <http://jopr.mpob.gov.my/the-growth-of-the-oil-palm-industry-in-colombia/>

- Hormaza Martínez, P. A., Forero Hernández, D. C., Ruiz Romero, R., & Romero Angulo, H. M. (2010). *Fenología de la palma de aceite africana (Elaeis guineensis Jacq.) y del híbrido interespecífico (Elaeis oleifera [Kunt] Cortes x Elaeis guineensis Jacq.)*. Cenipalma. <https://repositorio.fedepalma.org/bitstream/handle/123456789/80999/Fenologia%20de%20la%20palma%20de%20aceite%20africana%20y%20del%20h%C3%ADbrido.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hormaza, P., Forero, D., Ruiz, R., & Romero, E. (2011). *Fenología de la palma de aceite africana (Elaeis guineensis Jacq.) y del híbrido interespecífico (Elaeis oleifera x Elaeis guineensis Jacq.)*. Cenipalma.
- Hormaza, P., Mesa Fuquen, E., & Romero, H. M. (2012). Phenology of the oil palm interespecific hybrid *Elaeis oleifera x Elaeis guineensis*. *Scientia Agricola*, 69(4), 275-280. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162012000400007>
- Icontec. (2009). *Norma técnica colombiana 5713: Aceite de palma alto oleico OxG (Elaeis oleifera x Elaeis guineensis)*. Icontec.
- Ingrasso, I., Bonsegna, S., Domenico, S., Laddomada, B., Blando, F., Santino, A., & Giovinazzo, G. (2011). Over-expression of a grape stilbene synthase gene in tomato induces parthenocarpy and causes abnormal pollen development. *Plant Physiology and Biochemistry*, 49(10), 1.092-1.099. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2011.07.012>
- Khairudin, H., & Teoh, C. H. (1988). *Herbicide induced parthenocarpy in oil palm—Preliminary screening of herbicides*. 210-214. <http://agris.upm.edu.my:8080/dspace/handle/0/3430>
- Khosla, P. (2014). Efectos del aceite de palma en la salud humana. Más allá del perfil de ácidos grasos. *Revista Palmas*, 35(2), 59-72. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10980>

- Kokubun, M., Shimada, S., & Takahashi, M. (2001). Flower abortion caused by preanthesis water deficit is not attributed to impairment of pollen in soybean. *Crop Science*, *41*, 1.517-1.521. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.4151517x>
- La Cabaña S.A. (2009). *Multimedia interactivo: Palma de aceite alto oleico (híbrido OxG)*.
- Labarca, M., Portillo, E., Portillo, A., & Morales, E. (2009). Estructuras reproductivas y polinización entomófila en tres lotes comerciales de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el estado Zulia, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad Del Zulia*, *26*(1), 1-22. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/26795>
- Lagos B., T. C., Bacca, T., Herrera P., D. M., & Delgado T., J. L. (2015). Biología reproductiva y polinización artificial del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* (cav.) sendt). *Boletín Científico Del Centro de Museos*, *19*(2), 60-73. <https://doi.org/10.17151/bccm.2015.19.2.3>
- Lagos, T. C., Caetano, C. M., Vallejo, F. A., Muñoz, J. E., Criollo, H., & Olaya, C. (2005). Caracterización palinológica y viabilidad polínica de *Physalis peruviana* L. y *Physalis philadelphica* Lam. *Agronomía Colombiana*, *23*(1), 55-61. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/19906>
- Larkindale, J., Hall, J. D., Knight, M. R., & Vierling, E. (2005). Heat stress phenotypes of *Arabidopsis* mutants implicate multiple signaling pathways in the acquisition of thermotolerance. *Plant Physiol*, *138*, 882-897. <https://doi.org/10.1104/pp.105.062257>
- Larkindale, J., & Huang, B. (2004). Thermo tolerance and antioxidant systems in *Agrostis stolonifera*: Involvement of salicylic acid, abscisic acid, calcium, hydrogen peroxide, and ethylene. *Journal of Plant Physiology*, *161*(4), 405-413. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-01239>

- Lewis, D. H., Burge, G. K., Schmierer, D. M., & Jameson, P. E. (1996). Cytokinins and fruit development in the kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). I. Changes during fruit development. *Physiologia Plantarum*, *98*, 179-186. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1996.980122.x>
- Leyser, O., & Day, S. (2015). Signal Transduction. En *Biochemistry and Molecular Biology of Plants* (2.^a ed., pp. 834-871). John Wiley & Sons.
- Lin, Y., Wang, Y., Iqbal, A., Shi, P., Li, J., Yang, Y., & Lei, X. (2017). Optimization of culture medium and temperature for the in vitro germination of oil palm pollen. *Scientia Horticulturae*, *220*, 134-138. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.040>
- Luckwill, L. C. (1970). *The control of growth and fruitfulness of apple trees* (pp. 237-253). Academia Press.
- Macfarlane, N., Swetman, T., & Cornelius, J. A. (1975). Analysis of mesocarp and kernel oils from the american oil palm and F1 hybrids with the west african oil palm. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *26*, 1.293-1.298.
- Márquez Guzmán, J. (2013). *Biología de angiospermas*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. (3.^a ed.). Elsevier.
- Marutani, M., Sheffer, R. D., & Kamemoto, H. (1993). Cytological Analysis of *Anthurium andraeanum* (Araceae), Its Related Taxa and Their Hybrids. *American Journal of Botany*, *80*(1), 93-103. <http://www.jstor.org/stable/2445125>
- Mascarenhas, J. P. (1975). The Biochemistry of Angiosperm Pollen Development. *Botanical Review*, *41*(3), 259-314. <https://www.jstor.org/stable/4353883>
- McKellar, M., & Quesenberry, K. (1992). Chromosome pairing and pollen viability in *Desmodium ovalifolium* Wall x *Desmodium heterocarpon* (L.) DC hybrids. *Australian Journal of Botany*, *40*(2), 243-247. <https://doi.org/10.1071/BT9920243>

- Meléndez M., & Ponce, W. (2016). Pollination in the oil palms *Elaeis guineensis*, *E. oleifera* and their hybrids OxG. in tropical America. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 46(1), 102-110. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4638196>
- Menéndez, T. M., & Black, G. (1963). *11th Ann. Report. W. Afr.* West African Institute for Oil Palm Research.
- Mesejo, C., Martínez-Fuentes, A., Reig, C., & Agustí, M. (2008). Gibberellic acid impairs fertilization in Clementine mandarin under cross-pollination conditions. *Plant Science*, 175(3), 267-271. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2008.04.008>
- Mesejo Conejos, C. (2012). *Citricultura. El cuajado del fruto. Polinización y partenocarpia. Las giberelinas*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/16898>
- Meunier, J. (1975). Le palmier à huile américain *Elaeis melanococca*. *Oléagineux*, 30(2), 51-61. <https://agritrop.cirad.fr/439820/1/ID439820.pdf>
- Meunier, J. (1991). Una posible solución genética para el control de la Pudrición del cogollo en la palma aceitera: Híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*. *Revista Palmas*, 12(2), 39-44.
- Mignolli, F., Mariotti, L., Lombardi, L., Vidoz, M. L., Ceccarelli, N., & Picciarelli, P. (2012). *Tomato fruit development in the auxin-resistant dgt mutant is induced by pollination but not by auxin treatment*. 169, 1.165-1.172. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.04.005>
- Mohd, H. H. (2000). Yield and yield components and their physiology. En *Advances in oil palm research* (Vol. 1-I, pp. 146-170). Malaysian Palm Oil Board.
- Montalt Resurrección, R. (2009). *Partenocarpia en cítricos. Estudio preliminar para la caracterización del banco de germoplasma de cítricos del IVIA* [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia].

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/14534/partencarpia%20en%20citricos.pdf?sequence=1>

- Montoya, C., Lopes, R., Flori, A., Cros, D., Cuéllar, T., Summo, M., Speout, S., Rivallan, R., Risterucci, A. M., Bittencourt, D., Zambrano, J. R., Alarcón, W. H., Villeneuve, P., Pina, M., Nouy, B., Amblard, P., Ritter, E., Leroy, T., & Billotte, N. (2013). Quantitative trait loci (QTLs) analysis of palm oil fatty acid composition in an interspecific pseudo-backcross from *Elaeis oleifera* (H.B.K.) Cortés and oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Tree Genetics & Genomes*, *9*, 1207-1225. <https://doi.org/10.1007/s11295-013-0629-5>
- Moreno Corredor, E., García, J. M., Díaz Rangel, C. A., Meneses, H. M., Ramírez Contreras, N. E., & García Nuñez, J. A. (2018). Optimización de la medición del potencial industrial de aceite. *Revista Palmas*, *38*(4), 98-107. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12359>
- Mosquera, M., Valderrama, M., Fontanilla, C., Ruiz, C., Uñate, M., Rincón, F., & Arias, N. (2016). Costos de producción de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia en 2014. *Revista Palmas*, *37*(2), 37-53. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11737>
- Mozzon, M., Pacetti, D., Lucci, P., Balzano, M., & Frega, N. G. (2013). Crude palm oil from interspecific hybrid *Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*: Fatty acid regiodistribution and molecular species of glycerides. *Food Chemistry*, *141*(1), 245-252. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.016>
- Murphy, D. J. (2014). The future of oil palm as a major global crop: Opportunities and challenges. *Journal of Oil Palm Research*, *26*(1), 1-24. <http://jopr.mpob.gov.my/the-future-of-oil-palm-as-a-major-global-crop-opportunities-and-challenges/>

- Nitsch, J. P. (1950). Growth and morphogenesis of strawberry as related to auxin. *American Journal of Botany*, 37(3), 211-215. <https://doi.org/10.2307/2437903>
- Nitsch, J. P. (1971). Perennation through seeds and other structure fruit development. En *Plant Physiology* (pp. 413-501). Academic Press.
- Nitsche, K., Grossmann, K., Sauerbrey, E., & Jung, J. (1985). Influence of the growth retardant tetcyclacis on cell division and cell elongation in plants and cell cultures of sunflower, soybean, and maize. *Journal of Plant Physiology*, 118(3), 209-218.
[https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(85\)80222-4](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(85)80222-4)
- Ohara, H., Izawa, J., Kimura, S., Hiroi, N., Matsui, H., Hirata, N., & Takahashi, E. (1997). Induction of fruit set and growth of parthenocarpic «Hayward» kiwifruit with plant growth regulators. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 66, 467-473.
<https://doi.org/10.2503/jjshs.66.467>
- Opute, F. I., & Obasola, C. O. (1979). Breeding for Short-stemmed Oil Palm in Nigeria: Fatty Acids, their Significance and Characteristics. *Annals of Botany*, 43(6), 677-681.
<https://doi.org/10.2307/42761842>
- Orillo, M., & Bonierbale, M. (2009). *Biología reproductiva y citogenética de la papa*. Centro Internacional de la Papa. CIP.
https://www.academia.edu/36873312/Biolog%C3%ADa_reproductiva_y_citogen%C3%A9tica_de_la_papa_Red_LatinPapa_Centro_Internacional_de_la_Papa_CIP
- Ospina M., M. C., & Ligarreto M., G. A. (2000). Análisis de la calidad del polen en genotipos de papa *Solanum tuberosum* ssp. Andigena y reacción a *Phytophthora infestans* en progenies. *Agronomía Colombiana*, 17, 69-72.
<http://www.bdigital.unal.edu.co/24427/1/21588-73851-1-PB.pdf>

- Pallardy, S. G. (2008). *Physiology of woody plants* (3.^a ed.). <https://doi.org/10.1016/B978-012088765-1.50001-4>
- Patterson, K. J., Mason, K. A., & Gould, K. S. (1993). Effects of CPPU (N-(2-chloro-4-pyridyl)-N-phenylurea) on fruit growth, maturity and storage quality of kiwifruit, New Zealand. *Journal of Crop and Horticultural Science*, 21, 253-261. <https://doi.org/10.1080/01140671.1993.9513777>
- Pelaez R., E. E., Ramirez M., D. P., & Cayón S., G. (2010). Fisiología comparada de palmas africana (*Elaeis guineensis* Jacq.), americana (*Elaeis oleifera* hbk Cortes) e híbridos (*E. oleifera* x *E. guineensis*) en Hacienda La Cabaña. *Revista Palmas*, 31(2), 29-38. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1476/1476>
- Pharis, R. P., & King, R. W. (1985). Gibberellins and reproductive development in seed plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 36, 517-568. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.36.060185.002505>
- Pio, L. A. S., Ramos, J. D., Pasqual, M., Junqueira, K. P., Santos, F. C., & Rufini, J. C. M. (2007). Viabilidade do pólen de laranjas doces em diferentes condições de armazenamento. *Ciência e Agrotecnologia*, 31(1), 147-153. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000100022>
- Prada, F., & Romero, A. (2012). *Muestreo y análisis de racimos en el cultivo de la palma de aceite*. Centro Nacional de Investigación en palma de aceite [Cenipalma].
- Preciado Q., C. A., Bastidas, P. S., Betancourth, G. C., Peña R., E., & Reyes, C. R. (2011a). Predicción y control de la cosecha en el híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* en la zona palmera occidental de Colombia I. Determinación del período de madurez para obtener racimos de alto contenido de aceite. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(1), 5-12. https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:210

Preciado Q., C. A., Bastidas, P. S., Betancourth, G. C., Peña R., E., & Reyes, C. R. (2011b).

Predicción y control de la cosecha en el híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* en la zona palmera occidental de Colombia. II. Determinación del ciclo de cosecha para obtener racimos de alto contenido de aceite. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(1), 13-19. https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:210

Prieto, A., Ochoa, I., & Cayón, D. G. (2015). *Efecto de la aplicación de auxinas y giberelinas en la formación de frutos partenocárpicos en los híbridos Elaeis oleifera H.B.K. Cortés x Elaeis guineensis Jacq.* XVIII Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite, Cartagena, Colombia.

Quan Yu, J. (1999). Parthenocarpy induced by N-(2-chloro-4-pyridyl)-N'-phenylurea (CPPU) prevents flower abortion in Chinese white-flowered gourd (*Lagenaria leucantha*). *Environmental and Experimental Botany*, 42(2), 121-128. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(99\)00025-8](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(99)00025-8)

Quijada, O., Camacho, R., Rivas, J., & Fonseca, Y. (1999). *Partenocarpia del mango «Haden» en la planicie de Maracaibo*. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Zulia. http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd64/texto/mango.htm

Rao, S. S. R., Vardhini, B. V., Sujatha, E., & Anuradha, S. (2002). Brassinosteroids—A new class of phytohormones. *Current Science*, 82(10), 1.239-1.245. <https://www.jstor.org/stable/24107046>

Rebers, M., Kaneta, T., Kawaide, H., Yamaguchi, S., Yang, Y., Imai, R., Sekimoto, H., & Kamiya, Y. (1999). Regulation of gibberellin biosynthesis genes during flower and early fruit development of tomato. *Plant Journal*, 17, 241-250. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.1999.00366.x>

- Redshaw, M. (2012). *Utilización de los Residuos del Campo y de los Subproductos de la Planta Extractora* (Palma de aceite: manejo para rendimientos altos y sostenibles). 337-350
- Rejón, J. D., Suárez, C. G., Alché, J. D., Castro, A. J., & Rodríguez-García, M. I. (2010). Evaluación de diferentes métodos para estimar la calidad del polen en distintos cultivares de olivo (*Olea europaea* L.). *Polen*, 20, 61-72. <https://doi.org/10.14201/pol.v20i0.8921>
- Rey Bolivar, L., Ayala, I., Delgado Ayala, W., & Rocha Salavarieta, P. J. (2003). *Colecta de material genético de la palma amaricana noli elaeis oleifera (H.B.K.) cortex en el trapecio amazónico* (N.º 101; Ceniavances, pp. 1-4). Cenipalma.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/ceniavances/article/view/10364/10354>
- Rey Bolivar, L., Gómez C., P. L., Ayala D., I., Delgado A., W., & Rocha S., P. (2004). Colecciones genéticas de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) y (*Elaeis oleífera* H.B.K.) de Cenipalma: Características de importancia en el sector palmicultor. *Revista Palmas*, 25, 39-48. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1065>
- Rincón, S. M., Hormaza, P. A., Moreno, L. P., Prada, F., Portillo, D. J., García, J. A., & Romero, H. M. (2013). Use of phenological stages of the fruits and physicochemical characteristics of the oil to determine the optimal harvest time of oil palm interspecific OxG hybrid fruits. *Industrial Crops and Products*, 49, 204-210.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.035>
- Rivera, Y. D., Cayón, D. G., & López, J. E. (2013). Physiological and morphological characterization of american oil palms (*Elaeis oleifera* HBK Cortes) and their hybrids (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) on the Indupalma plantation. *Agronomía Colombiana*, 31(3), 314-323.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/39631>
- Robinson, R., Cantliffe, D., & Shannon, S. (1971). Morphactin-induced parthenocarpy in Cucumber. *Science*, 171, 1.251-1.252. <https://doi.org/10.1126/science.171.3977.1251>

- Rocha S., P. J., Prada C., F., Rey B., L., & Ayala D., I. M. (2006). Caracterización bioquímica parcial de la colección de *Elaeis oleifera* de Cenipalma proveniente de la Amazonia colombiana. *Revista Palmas*, 27(3), 35-44.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1187>
- Rodríguez, A., Daza, E., Romero, R., & Romero, H. (2011). *Polinización asistida en palma de aceite. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: Guía para facilitadores.*
- Rodríguez Rojas, T. J., Andrade Rodríguez, M., Canul Ku, J., Castillo Gutiérrez, A., Martínez Fernández, E., & Guillén Sánchez, D. (2015). Viabilidad de polen, receptividad del estigma y tipo de polinización en cinco especies *Echeveria* en condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(1), 111-123.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v6i1.743>
- Rodriguez-Nieto, J. A., & Mollick, A. V. (2021). The US financial crisis, market volatility, credit risk and stock returns in the Americas. *Financial Markets and Portfolio Management*, 35(2), 225-254. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s11408-020-00369-x>
- Rosero Estupiñán, G., & Santacruz Arciniegas, L. (2014). Efecto de la polinización asistida en la conformación del racimo en material híbrido OxG en la plantación Guaicaramo S.A. *Revista Palmas*, 35(4), 11-19.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11028>
- Rosero Estupiñán, G., Santacruz Arciniegas, L., & Carvajal, S. (2017). Influencia del destape de la inflorescencia en la polinización asistida del híbrido OxG. *Revista Palmas*, 38(1), 49-62.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12044>
- Ruíz, E., Fontanilla, C., Mesa, E., Mosquera, M., Molina, D., & Rincón, A. (2015). Prácticas de manejo y costos de producción de la palma de aceite híbrido OxG en plantaciones de la

- Zona Oriental y Suroccidental de Colombia. *Revista Palmas*, 36(4), 11-29.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11642>
- Sakata, T., & Higashitani, A. (2008). Male sterility accompanied with abnormal anther development in plants-genes and environmental stresses with special reference to high temperature injury. *International Journal of Plant Developmental Biology*, 2(1), 42-51.
[http://globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/0806/IJPDB_2\(1\)/IJPDB_2\(1\)42-51o.pdf](http://globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/0806/IJPDB_2(1)/IJPDB_2(1)42-51o.pdf)
- Sakata, T., Oshino, T., Miura, S., Tomabechi, M., Tsunaga, Y., Higashitani, N., Miyazawa, Y., Takahashi, H., Watanabe, M., & Higashitani, A. (2010). Auxins reverse plant male sterility caused by high temperatures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(19), 8569-8574. <https://doi.org/10.1073/pnas.1000869107>
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1985). *Plant Physiology* (3.^a ed.). Wadsworth Publishing Co.
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1992). *Plant Physiology* (4.^a ed.). John Wiley & Sons.
- Salles, L. A., Ramos, J. D., Pasqual, M., Junqueira, K. P., & Silva, A. B. da. (2006). Sacarose e pH na germinação in vitro de grãos de pólen de citros. *Ciência e Agrotecnologia*, 30(1), 170-174.
<https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000100025>
- Sánchez Rodríguez, Á., Daza, E. S., Ruiz Romero, R., & Romero Angulo, H. M. (2011). *Polinización asistida en palma de aceite. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: Guía para facilitadores*. Cenipalma.
<http://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/107703>
- Sánchez Rodríguez, L. Á., & Romero, H. M. (2013). *Viabilidad y morfología del polen de diferentes materiales de palma de aceite* (Ceniavances N.º 171). Cenipalma.

- Sedgely, M., & Harbard, J. (1993). *Pollen storage and breeding systems in relation to controlled pollination of four species of Acacia (Leguminosae: Mimosoideae)*. 41, 601-609.
<https://doi.org/10.1071/BT9930601>
- Seop, K., Hiroshi, O., & Kunimitsu, F. (1992). *Endogenous levels of IAA in relation to parthenocarpy in cucumber (Cucumis sativus L.)*. 52(1-2), 1-8. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(92\)90002-T](https://doi.org/10.1016/0304-4238(92)90002-T)
- Serna Mondragón, A., & Pinilla Betancourt, C. (2015). Aceite de palma alto oleico: Propiedades fisicoquímicas y beneficios para la salud humana. *Revista Palmas*, 36(4), 57-66.
<http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11645>
- Shivanna, K. R. (2003). *Pollen biology and biotechnology*. Science Publishers.
- Shivanna, K. R., & Tandon, R. (2014). *Reproductive ecology of flowering plants: A manual*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2003-9>
- Sparnaaij, L. D. (1959). *The analysis of bunch production in the oil palm*.
<https://edepot.wur.nl/183270>
- Sparnaaij, L. D. (1962). *10th Ann. Report. W. Afr. Inst. Oil Palm Res.*
- Stanley, R. G., & Linskens. (1974). Viability Test. En *Pollen-biology, biochemistry and management* (pp. 67-86). Springer Verlag.
- Sunil Kumar, K., Mathur, R., & SparjanBabu, D. (2011). *Efficacy of Dyes and Media on Pollen Viability and Germinability in Oil Palm (Elaeis guineensis Jacq.)*. 8(1), 9-12.
- Sunil Kumar, K., Mathur, R., SparjanBabu, D., & Reddy, A. (2013). *Pollen viability and vigour in interspecific hybrids (E. guineensis x E. oleifera) of oil palm*. 41(1), 91-94.
<https://updatepublishing.com/journal/index.php/JPC/article/view/5908>
- Syafiq, M., Nur Atiqah, A. R., Ghazali, A., Asmah, S., Yahya, M. S., Aziz, N., Puan, C. L., & Azhar, B. (2016). Responses of tropical fruit bats to monoculture and polyculture farming in oil

- palm smallholdings. *Acta Oecologica*, 74, 11-18.
<https://doi.org/10.1016/j.actao.2016.06.005>
- Syed, R. A. (1979). Studies on oil palm pollination by insects. *Bulletin of Entomological Research*, 69(2), 213-224. <https://doi.org/10.1017/S0007485300017673>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology* (4.^a ed.). Sinauer Associates.
- Takagi, T., Murai, H., Ueda, R., & Suzuki, T. (1994). *Effect of application of gibberellic acid and N-(2-chloropyridyl)-N'-phenylurea on the enlargement of frost-induced seedless fruit of loquat (Eriobotrya japonica Lindl.)*. 62(4), 733-739.
<https://wenku.baidu.com/view/a43da6573169a4517723a3da.html>
- Talanova, V., Akimova, T., & Titov, A. (2003). Effect of whole plant and local heating on the ABA content in cucumber seedling leaves and roots and on their heat tolerance. *Russian Journal of Plant Physiology*, 50, 90-94. <https://doi.org/10.1023/A:1021996703940>
- Talón, M., Hedden, P., & Primo-Millo, E. (1990). Gibberellins in *Citrus sinensis*: A comparison between seeded and seedless varieties. *Journal of Plant Growth Regulation*, 9(4), 201-206. <https://doi.org/10.1007/BF02041963>
- Tam, T. K. (1981). Investigations into fruit-set capacities of the *Elaeis oleifera* under controlled pollination conditions and germination requirements of the *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* (pisifera) hybrid. *The Planter*, 57, 444-451.
- Tan, Y. P. (1985). *Weevil pollination in the Elaeis oleifera x Elaeis guineensis hybrid*. 34-40.
- Tandon, R., Manohara, T., Nijalingappa, B., & Shivanna, K. (2001). Pollination and Pollen-pistil interaction in Oil palm, *Elaeis guineensis*. *Annals of Botany*, 87(6), 831-838.
<https://www.jstor.org/stable/42771002>
- Taylor, L. P., & Hepler, P. K. (1997). *Pollen germination and tube growth*. 48(1), 461-491.
<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.48.1.461>

- Thomas, R. L., Seth, A. K., Chan, K. W., & Ooi, S. C. (1973). Induced Parthenocarpy in the oil palm. *Annals of Botany*, 37(151), 447-452. <https://www.jstor.org/stable/42759421>
- Tiwari, A., Remko, O., & Heuvelink, P. (2012). Auxin-induced Fruit Set in *Capsicum annum* L. Requires Downstream Gibberellin Biosynthesis. 31, 570-578. <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9267-7>
- Torres, G. A., Sarria, G. A., Varon, F., Coffey, M. D., Elliot, M., & Martinez, G. (2010). First report of bud rot caused by *Phytophthora palmivora* on African oil palm in Colombia. *Plant Disease*, 94, 1.163. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-9-1163A>
- Turner, P. D., & Gillbanks, R. A. (1974). Oil palm cultivation and management. En *The Incorporated Society of Planters*. Kuala Lumpur.
- Uhl, C. H. (1982). The problem of ploidy in echeveria (Crassulaceae). II. tetraploidy. *American Journal of Botany*, 69(9), 1497-1511. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1982.tb13399.x>
- Vardi, A., Levin, I., & Carmi, N. (2008). Induction of seedlessness in Citrus: From classical techniques to emerging biotechnological approaches. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133(1), 117-126. <https://doi.org/10.21273/JASHS.133.1.117>
- Vardi, A., Neumann, H., Frydman-Shani, A., Yaniv, Y., & Spiegel-Roy, P. (2000). Tentative model on the inheritance of juvenility, self-incompatibility and parthenocarpy. *Acta Horticulturae*, 535, 199-205. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.535.24>
- Wan, C. K. (1987). Development of parthenocarpic fruits in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) due to application of herbicides. 63(732), 90-95.
- Wassmann, R., Jagadish, S. V. K., Sumfleth, K., Pathak, H., Howell, G., Ismail, A., Serraj, R., Redona, E., Singh, R. K., & Heuer, S. (2009a). Regional Vulnerability of Climate Change Impacts on

Asian Rice Production and Scope for Adaptation. 102, 91-133.

[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(09\)01003-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01003-7)

Wassmann, R., Jagadish, S. V. K., Sumfleth, K., Pathak, H., Howell, G., Ismail, A., Serraj, R., Redona, E., Singh, R. K., & Heuer, S. (2009b). Regional Vulnerability of Climate Change Impacts on Asian Rice Production and Scope for Adaptation. *Advances in Agronomy*, 102, 91-133.

[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(09\)01003-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01003-7)

Yamaguchi, S. (2008). Gibberellin metabolism and its regulation. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 225-251. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092804>

Yáñez, E., García, J., & Amaya, S. (2000). Metodología alterna para el análisis de racimos de palma de aceite. *Revista Palmas*, 21(1), 295-303.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/798>

Yáñez, E., García, J., Fernández, C., & Rueda, C. (2006). *Guía de análisis de racimo*. Cenipalma.

Zambrano R., J. E. (2004). Híbridos interespecíficos *Elaeis oleifera* x *Elaeis guinensis*. Una alternativa de renovación para la zona oriental de Colombia. *Revista Palmas*, 25, 339-349.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1098>

Objetivos

General

Determinar el efecto de dosis de polen y hormonas en la inducción de la partenocarpia, desarrollo de frutos y producción potencial de aceite en híbridos *OxG* de palma.

Específicos

- Estudiar la influencia de la viabilidad, germinación y dosis de polen en el desarrollo de frutos y producción de aceite en *OxG* y sus parentales.
- Comparar el efecto de ácido giberélico (AG_3) y ácido α -naftalenacético (ANA) en la inducción y desarrollo de frutos partenocárpicos y normales del racimo de *OxG*.

1. Capítulo 1. Viabilidad y germinación de polen del híbrido *OxG* (*Elaeis oleifera* Coarí x *Elaeis guineensis* La Mé) y sus progenitores

Resumen

Los cromosomas de *Elaeis oleifera* son similares a los de *Elaeis guineensis*, con acervos genéticos cercanos para la producción de híbridos interespecíficos. Las determinaciones de viabilidad y germinación del polen son fundamentales en los programas de mejoramiento genético para *formar* nuevos híbridos, aunque son pocos los trabajos sobre el desempeño germinativo del polen de un *OxG* con el de sus especies progenitoras. Se comparó la viabilidad y germinación del polen *Elaeis oleifera* "Coarí" y *Elaeis guineensis* "La Mé" con el del híbrido *OxG* "Coarí"x "La Mé". La viabilidad se determinó con el método de tinción con acetocarmín (0,5%) y la germinación mediante incubación *in vitro* en un medio de agar - sacarosa (1,2 g – 11,0 g). La viabilidad y germinación del polen *OxG* (CxLM) fueron significativamente menores que el de sus progenitores "Coarí" y "La Mé". Como el polen del híbrido no tiene una forma definida sino intermedia a la de sus padres y varía considerablemente en tamaño, hace que las divisiones celulares anormales sean frecuentes durante la formación del grano de polen y, como resultado, es posible que estas sean las causas de la baja viabilidad y fertilidad.

Palabras clave: palma de aceite, hibridación interespecífica, acetocarmín, desempeño germinación del polen

Abstract

Elaeis oleifera (American oil palm) chromosomes are similar to those of *Elaeis guineensis* (African oil palm), with close gene pools for the production of interspecific *OxG* hybrids. Although determinations of pollen viability and germination are fundamental to breeding programs for making new hybrids, there are few studies on pollen germination performance in oil palm

progenitor species and their hybrids. The pollen viability and germination from *Elaeis oleifera* "Coarí" and *Elaeis guineensis* "La Mé" were compared to its interspecific hybrid *OxG* "Coarí" x "La Mé". Pollen viability was determined acetocarmine staining method (0.5%) and pollen germination was assessed by *in vitro* incubation on agar-sucrose medium (1.2 g - 11.0 g). Pollen viability and germination from "Coarí" x "La Mé" hybrid was significantly lower than its parents "Coarí" and "La Mé", As the pollen of the hybrid does not have a definite form but intermediate to that of its parents, varies considerably in size, causes abnormal cell divisions to be frequent during pollen grain formation and as a result it is possible that these are the causes of low viability and fertility.

Keywords: oil palm, interspecific hybridization, acetocarmine, pollen germination performance

1.1 Introducción

Los híbridos interespecíficos de palma de aceite *OxG* se obtienen del cruzamiento entre la palma americana (*Elaeis oleifera* H.B.K. Cortes) y la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) y son una alternativa valiosa para la producción de aceite por sus características de tolerancia a plagas y enfermedades, aceptable producción de RFF (20-25 t ha⁻¹), aceite de alta calidad (oleico 55%, linoleico 11%) y contenidos importantes de vitamina E (Mozzon et al., 2013; Serna Mondragón & Pinilla Betancourt, 2015) y carotenos (Choo & Nesaretnam, 2014; Pelaez R. et al., 2010; Rey Bolivar et al., 2003, 2004; Rivera et al., 2013; Rocha S. et al., 2006). El área sembrada con materiales *OxG* en Colombia es de 35.700 ha, aproximadamente, correspondientes al 6,4% del área total sembrada en palma (Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite. [Fedepalma], 2015). Los híbridos *OxG* presentan poca emisión de inflorescencias masculinas, baja viabilidad del polen (Alvarado et al., 2000) y presencia de espatas que cubren la inflorescencia femenina (Corley & Tinker, 2009), características que afectan su polinización natural y, por lo tanto, la producción de RFF y el rendimiento de aceite por hectárea. Las plantas híbridas entre especies cercanas pueden presentar algún tipo de esterilidad del polen que producen (Shivanna, 2003), lo cual se debe a su origen genético común, ya que los mutantes e híbridos interespecíficos son altamente androestériles porque no presentan gametos masculinos fértiles (Rodríguez-Nieto & Mollick, 2021).

En la polinización, el grano de polen es transferido y llega al estigma de las flores y luego, al germinar y emitir el tubo polínico puede originar la doble fecundación del ovario (Márquez

Guzmán, 2013; Mascarenhas, 1975). Existen diferencias fundamentales entre los términos germinación y viabilidad del polen. La viabilidad se refiere a que el grano de polen tiene todas las enzimas necesarias que lo habilitan para germinar (Dafni & Firmage, 2000; Shivanna & Tandon, 2014), mientras que la germinación hace referencia a que el grano de polen emite y desarrolla el tubo polínico cuando alcanza el estigma de las flores (Gaaliche et al., 2013; Shivanna & Tandon, 2014; Taylor & Hepler, 1997). Por lo tanto, las pruebas de viabilidad no indican, necesariamente, que el polen sea capaz de alcanzar el ovario para fecundar los óvulos (Sedgely & Harbard, 1993), mientras que las de germinación sí lo hacen (Godefroid et al., 2010).

Una de las técnicas para evaluar la viabilidad del polen es la tinción con acetocarmín, ampliamente descrita por varios autores (Arnaud, 1980; Orillo & Bonierbale, 2009; Pio et al., 2007; L. Á. Sánchez Rodríguez & Romero, 2013). El acetocarmín se une a la cromatina del núcleo del grano de polen viable, el cual se tiñe en tonos que van desde rosado hasta rojo intenso, mientras que el polen estéril, a menudo constreñido, no se tiñe y se mantiene translúcido (Marutani et al., 1993; McKellar & Quesenberry, 1992). La determinaciones de viabilidad y germinación del polen son fundamentales en los programas de mejoramiento genético para garantizar la formación de variedades mejoradas y nuevos híbridos (Ospina M. & Ligarreto M., 2000; Salles et al., 2006); sin embargo, son pocos los trabajos dedicados, específicamente, a comparar el desempeño germinativo del polen de un híbrido con el de sus especies progenitoras. El objetivo de este estudio fue realizar un análisis comparativo de la viabilidad y germinación del polen de palma americana Coarí (*Elaeis oleifera*) y palma africana La Mé (*Elaeis guineensis*) con su híbrido Coarí x La Mé (CxLM).

1.2 Materiales y métodos

1.2.1 Localización y material vegetal

El estudio se realizó en la plantación Indupalma Ltda., ubicada en el municipio de San Alberto, Departamento del Cesar, a 10°20' N y 73°11' O, a una altitud de 125 m.s.n.m., temperatura máxima 34°C y mínima 22°C, humedad relativa de 72,3%, precipitación 2.497 mm/año, evaporación 1.208 mm/año y 2.130 horas de brillo solar/año. Se utilizó polen de la palma americana Coarí (*Elaeis oleifera*), palma africana La Mé (*Elaeis guineensis*) e híbrido CxLM, recolectados en el lote experimental “Jardín Granero” de la empresa Indupalma Ltda.. Para la recolección del polen de los tres genotipos, se identificaron inflorescencias masculinas en preantesis II (estadio 602, **Figura 1-1**), correspondiente al 30% de rasgado de las brácteas

pedunculares (Hormaza et al., 2012). Se cubrieron las inflorescencias masculinas con bolsas de aislamiento ajustadas con una banda elástica, para evitar su contaminación con polen natural circundante. Las inflorescencias se cortaron en anthesis (estadio 607) según la escala propuesta por (Hormaza et al., 2012), cuando más del 70% de las flores se encontraban abiertas y próximas a liberar el polen; enseguida, se llevaron al Laboratorio de Semillas de Indupalma, se separaron las espigas digitiformes sobre papel kraft y se secaron en un horno de ventilación controlada por 12 horas a 39°C hasta alcanzar una humedad del 6%; luego se sacudieron cuidadosamente para liberar el polen de las anteras el cual fue cribado con tamices No. 100 y 200 para retirarle impurezas, se empacó al vacío y fue almacenado a -4°C, acorde con los protocolos establecidos para ese fin (Rodríguez et al., 2011).

Figura 1-1: Estadios de desarrollo de la inflorescencia masculina para la recolección del polen (Hormaza et al., 2012).



a) Estadio 602



b) Embolsado



c) Estadio 607

1.2.2 Viabilidad

Para determinar la viabilidad se utilizó el método de tinción con una solución de acetocarmín 0,5% (Orillo & Bonierbale, 2009, 2009); cada muestra de polen se esparció en portaobjetos con un hisopo, se agregaron dos gotas de acetocarmín y se taparon con cubreobjetos para mejor dispersión; después de 10 minutos, los granos de polen se observaron en el microscopio con el objetivo 10x, considerándose viables los que presentaron una coloración roja o rosada y no viables los que no tiñeron. Se establecieron cuatro repeticiones por cada material, realizando el conteo en cuatro campos de observación. Para la toma fotográfica de los granos viables se utilizó un

microscopio Olympus CX21 acoplado a una cámara digital de 10 *mega pixeles*, y los conteos se realizaron con el *software* Imagej® (Rasband, 2016).

El porcentaje de viabilidad se calculó mediante la Ecuación 1-1:

$$\% \text{ viabilidad} = \frac{\text{número granos viables}}{\text{número granos totales}} \times 100 \quad (1-1)$$

Donde:

$$\text{número de granos totales} = \text{granos viables} + \text{granos no viables}$$

1.2.3 Germinación

Para la germinación se utilizó el medio descrito por (Turner & Gillbanks, 1974), 11 g de sacarosa y 1,2 g de agar disueltos en 100 mL de agua destilada y sometido a ebullición por 5 minutos; luego, se colocó en cajas Petri y se dejó enfriar a temperatura ambiente. El polen se espolvoreó sobre las cajas Petri, se incubó por dos horas a 35°C y se procedió a realizar las lecturas con el objetivo 10x de un microscopio Olympus CX21 y la toma fotográfica de los granos germinados se hizo con una cámara digital de 10 *mega pixels* acoplada al microscopio. Se contaron como granos germinados solo aquellos que desarrollaron un tubo polínico mayor o igual al diámetro del grano de polen, utilizando el *software* Imagej® (Kakani *et al.*, 2002).

El porcentaje de germinación se calculó mediante la Ecuación 1-2:

$$\% \text{ Germinación} = \frac{\text{número granos germinados}}{\text{número granos totales}} \times 100 \quad (1-2)$$

Donde:

$$\text{número granos totales} = \text{granos germinados} + \text{granos no germinados}$$

1.2.4 Diseño y análisis estadístico

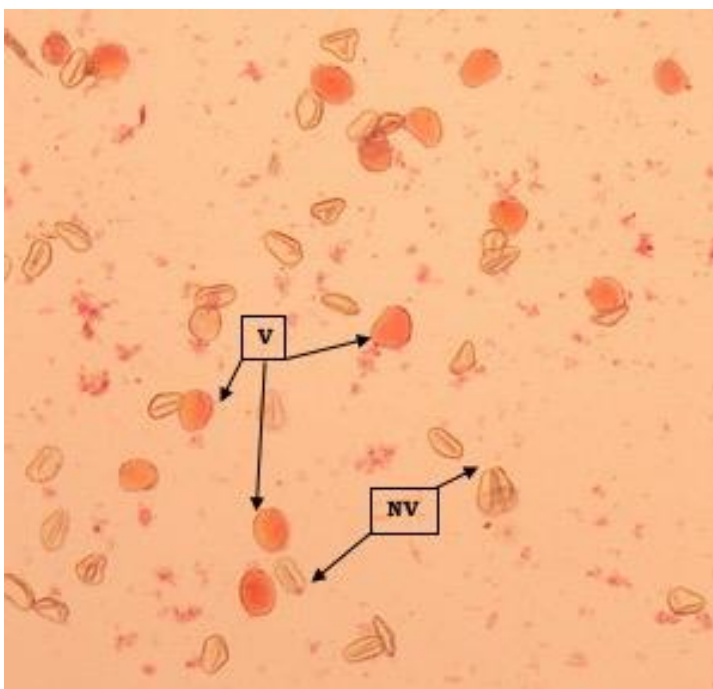
Para evaluar la viabilidad y germinación del polen de cada genotipo se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), los genotipos fueron "Coarí", "La Mé" y el híbrido interespecífico "Coarí" x "La Mé"; las unidades experimentales fueron cuatro por tratamiento con cuatro placas de Petri por unidades experimentales. Los datos generados se sometieron a análisis de varianza, análisis de correlaciones y comparación de medias realizada con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) utilizando el programa SAS® 9.0.

1.3 Resultados y discusión

1.3.1 Viabilidad

La tinción con acetocarmín permitió diferenciar fácilmente los granos de polen viables que se tiñeron en tonos desde rosado hasta rojo intenso y los no viables que no tiñeron, se mantuvieron translúcidos o tiñeron de rosado tenue. (**Figura 1-2**).

Figura 1-2: Observación en microscopio de la viabilidad del polen por tinción con acetocarmín. Los granos de polen viables (V) están teñidos de rojo y los no viables (NV) sin teñir y translúcidos.

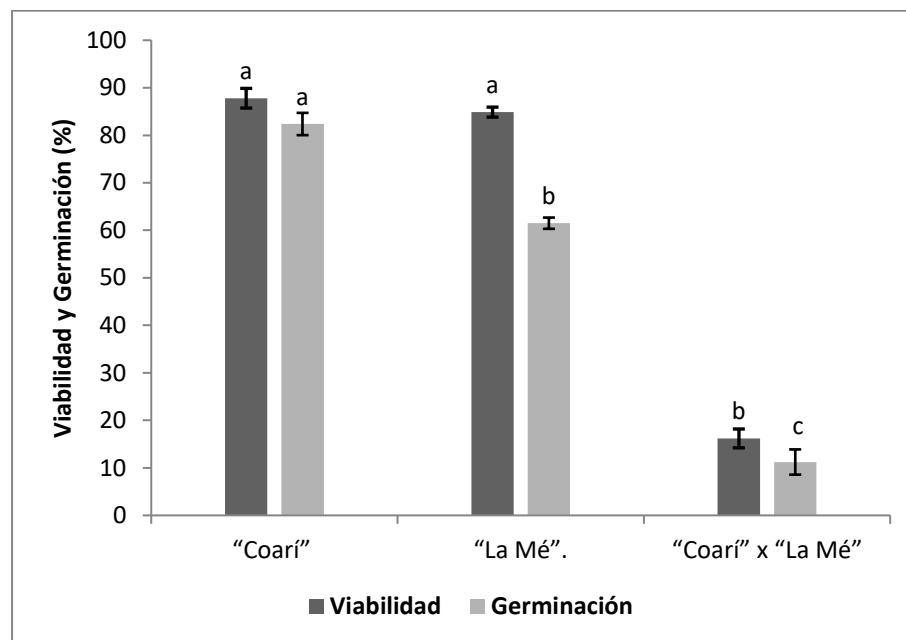


Las pruebas de tinción con colorantes nucleares como el acetocarmín son de gran precisión para determinar la viabilidad del polen, porque indican la integridad del núcleo al teñir los cromosomas (Arnaud, 1980; Orillo & Bonierbale, 2009; Sunil Kumar et al., 2013). Probablemente, la baja viabilidad mostrada por el polen de Coarí x La Mé es una consecuencia de su origen por hibridación entre sus parentales cercanos genéticamente, como lo muestran los trabajos de (Lagos et al., 2005; Rodríguez Rojas et al., 2015; Shivanna, 2003; Uhl, 1982).

En el polen de los tres genotipos, la viabilidad fue mayor que la germinación (**Figura 1-3**). La viabilidad de los parentales *E. oleifera* Coarí y *E. guineensis* La Mé fue similar, pero

significativamente inferior en el CxLM. Esto sugiere que no todos los granos de polen, clasificados como viables, germinaron después en el medio agar-sacarosa que es el más utilizado en las pruebas de germinación en los laboratorios de producción de polen.

Figura 1-3: Viabilidad y germinación comparativa del polen de palma americana Coarí (*E. oleifera*) y palma africana La Mé (*E. guineensis*) con su híbrido CxLM. Barras con letras distintas para cada variable (viabilidad o germinación) son estadísticamente diferentes con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).



1.3.2 Germinación

La **Figura 1-4** muestra la germinación de los granos de polen dos horas después de su incubación en el medio sacarosa-agar utilizado, donde se observa que el desarrollo del tubo polínico fue mayor en los parentales La Mé y Coarí que en el CxLM.

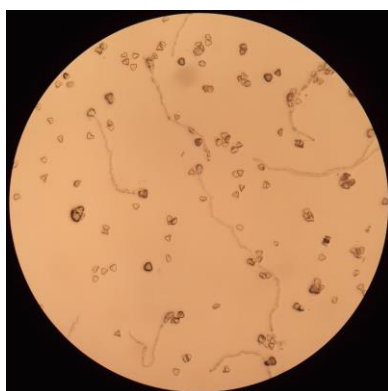
Figura 1-4: Observación en microscopio de la germinación de granos de polen del híbrido CxLM y sus progenitores. Los granos de polen germinados desarrollan el tubo polínico.



Coari



La Mé



Híbrido

Lo anterior coincide con (Alvarado et al., 2000), quienes encontraron menor germinación del polen del *OxG* “Amazon”, comparado con los de la madre *E. oleifera* y padre *E. guineensis*. Cuando el grano de polen llega al estigma receptivo embebe agua y germina, dando lugar al tubo polínico el cual crece rápidamente. Este crecimiento rápido del tubo polínico indica la capacidad del polen para culminar la fase siguiente de fecundación del ovario (Godefroid et al., 2010; Shivanna & Tandon, 2014) y, es una determinación rápida de su fertilidad. Así, se podría asegurar que la

fertilidad del polen CxLM es baja como consecuencia de su hibridación entre la palma americana Coarí y africana La Mé. En relación con esto, (Rejón et al., 2010) sostienen que las condiciones para la germinación en medio *in vitro*, son diferentes a las del estigma de la flor y, por lo tanto, el porcentaje de germinación obtenido en la prueba de laboratorio siempre será diferente al que se logra en condiciones naturales. Estas diferencias fueron demostradas en estudios comparativos entre la germinación del polen *in vitro* con la germinación en presencia de los tejidos estigmáticos de la flor (Stanley & Linskens, 1974) o de extractos de pistilos (Fernández-Escobar et al., 1981).

Cabe aclarar, que la germinación del polen no es la viabilidad por sí sola, sino un estimador de la misma, y que la pérdida de germinación no indica que el polen ha muerto, sino que las condiciones dadas no fueron óptimas para su germinación (Dempsey, 1962). (Sunil Kumar et al., 2011) afirman que la composición necesaria del medio de cultivo puede variar dependiendo de los requerimientos del genotipo; entonces, el uso de medios de cultivo no óptimos podrían subestimar la calidad del polen. Esto sugiere que, en la naturaleza, el estigma de la flor femenina es el que puede darle todas las condiciones óptimas al polen para que germine normalmente.

En el caso de los *OxG*, aún se desconocen la composición y concentración del líquido estigmático, por lo cual, es necesario realizar estudios al respecto. (Sunil Kumar et al., 2011) también aseguran que la tasa de germinación del polen en medios de cultivo es un indicador más confiable que la viabilidad estimada por tinción, lo cual permite presumir que el polen que no germine o que muestre poco desarrollo del tubo polínico en las pruebas usuales de laboratorio, es probable que no sea efectivo en la fertilización del ovario. De hecho, la prueba de viabilidad solamente revela que el polen contiene las enzimas requeridas para iniciar la germinación, mientras que la de germinación evalúa la emisión y desarrollo del tubo polínico. Por lo tanto, la viabilidad no indica que el polen sea capaz de alcanzar el ovario para fecundar los óvulos (Sedgely & Harbard, 1993), mientras que la germinación sí lo revela (Godefroid et al., 2010). Así, una prueba de viabilidad alta (>90%) no garantiza que el polen vaya a germinar normalmente en el estigma de las flores, como tampoco una prueba de germinación baja del polen (<70%) indica que este no sea apto para garantizar la polinización de las inflorescencias.

Como el éxito de la polinización asistida en los cultivos de híbridos depende, fundamentalmente, de la viabilidad y germinación del polen utilizado, es necesario realizar estas pruebas de

laboratorio antes de ser aplicado en los lotes comerciales porque sus resultados pueden variar con las condiciones climáticas imperantes.

1.4 Bibliografía

- Acciarri, N., Restaino, F., Vitelli, G., Perrone, D., Zottini, M., Pandolfini, T., Spena, A., & Rotino, G. (2002). Genetically modified parthenocarpic eggplants: Improved fruit productivity under both greenhouse and open field cultivation. *BMC Biotechnology*, 2, 1-7.
<https://bmcbiotechnol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1472-6750-2-4>
- Alvarado, A., Bulgarelli, B., & Moya, B. (2000). Germinación del polen en poblaciones derivadas de un híbrido entre *Elaeis guineensis* Jacq. Y *E. oleifera* HBK Cortés. *ASD Oil Palm Papers*, 20, 35-36.
- 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. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10689>
- American Oil Chemists' Society [AOCS]. (1994). *Official and Recommended Methods of the American Oil Chemists Society*.
- Andersson, S. (2000). *The cost of flowers in Nigella degenii inferred from flower and perianth removal experiments*. 161(6), 903-908. <https://doi.org/10.1086/317558>
- Araméndiz-Tatis, H., Cardona-Ayala, C., & Jarma-Orozco, A. (2013). Eficacia de dos métodos para evaluar la visibilidad del polen de Berenjena (*Solanum melogena* L. cv. Lila Criolla). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2), 351-358.
<https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n2.2013.907>
- Arias, D., Montoya, C., Rey, L., & Romero, H. (2012). Genetic similarity among commercial oil palm materials based on microsatellite markers. *Agronomía Colombiana*, 30(2), 188-195.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/29152/38937>

- Arnaud, F. (1980). Fertilité pollinique de l'hybride *Elaeis melanococca* x *E. guineensis* et des especes parentales. *Oléagineux*, 35(3), 121-129.
- Awad, M. A., & Al-Qurashi, A. D. (2012). Gibberellic acid spray and bunch bagging increase bunch weight and improve fruit quality of «Barhee» date palm cultivar under hot arid conditions. *Scientia Horticulturae*, 138, 96-100.
<https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2012.02.015>
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw-Hill.
- Barba, J., & Baquero, Y. (2013). Híbridos OxG obtenidos a partir de oleíferas Taisha Palmar del Río (PDR), Ecuador. Variedad -PDR (Taisha x Avros). *Revista Palmas*, 34, 315-325.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10690>
- Basiron, Y. (2007). Palm oil production through sustainable plantations. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109(4), 289-295. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200600223>
- Basri Wahid, M., Akmar A., S. N., & Henson, I. E. (2005). Oil Palm—Achievements and Potential. *Plant Production Science*, 8(3), 288-297. <https://doi.org/10.1626/pps.8.288>
- Bastidas P., S., Betancourth, C., Preciado, C. A., Peña, E., & Reyes, R. (2011). Predicción y control de la cosecha en el híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* en la zona palmera occidental de Colombia. II. Determinación del ciclo de cosecha para obtener racimos con alto contenido de aceite. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 12(1), 13-20.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:211
- 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*. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 8(1), 5-11.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol8_num1_art:77

- Ben-Cheikh, W., Perez-Botella, J., Tadeo, F. R., & Primo-Millo, E. (1997). Pollination Increases Gibberellin Levels in Developing Ovaries of Seeded Varieties of Citrus. *Plant Physiology*, *14*(2), 557-564. <https://doi.org/10.1104/pp.114.2.557>
- Bennett, T., & Leyser, O. (2014). The auxin question: A philosophical overview. En *Auxin and its Role in Plant Development* (pp. 3-19). https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1526-8_1
- Bernal Niño, F. (2005). *El cultivo de la palma de aceite y su beneficio*. Fedepalma., Fedepalma.
- Bettiol Neto, J. E., Del Nero, M., Kavati, R., & Pinto-Maglio, C. A. F. (2009). Viabilidade e conservação de pólen de três anonas comerciais. *Bragantia*, *68*(4), 825-837. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000400002>
- Binder, B. M., & Patterson, S. E. (2009). Ethylene-dependent and -independent regulation of abscission. *Stewart Postharvest Review*, *5*(1), 1-10. <https://doi.org/10.2212/spr.2009.1.1>
- Bishop, G., Sakakibara, H., Seo, M., & Yamaguchi, S. (2015). Biosynthesis of hormones. En *Biochemistry and Molecular Biology of Plants* (2.^a ed., pp. 769-833). American Society of Plant Physiologists.
- Bitá, C. E., & Gerats, T. (2013). Plant tolerance to high temperature in a changing environment: Scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Frontiers in Plant Science*, *4*(273), 1-18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00273>
- Breure, C. J., & Menendez, T. (1990). The Determination of bunch yield components in the development of inflorescences in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Experimental Agriculture*, *26*(1), 99-115. <https://doi.org/10.1017/S0014479700015441>
- Carter, C., Finley, W., Fry, J., Jackson, D., & Willis, L. (2007). Palm oil markets and future supply. *European Journal of Lipid Science and Technology*, *109*(4), 307-314. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200600256>

Cassiday, L. (2016). Una controversia de peso: Cambiando paradigmas sobre las grasas saturadas.

Revista Palmas, 37(4), 41-53.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11962>

Castiblanco, S., Fontanilla, C., Santacruz, L., Rosero, G., & Mosquera, M. (2013).

Comportamiento de los costos y beneficios de los materiales Coari x La Mé e IRHO 1001 en condiciones de Guaicaramo S.A. *Revista Palmas*, 34(4), 33-45.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10934>

Cayón, G. (1998). *Aspectos fisiológicos y bioquímicos de la maduración de los frutos de la palma de aceite (Elaeis guineensis Jacq.)*. 294-306.

Chaves, G., Ligarreto-Moreno, G. A., & Cayon-Salinas, 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 Agronomica*, 67(1), 168-176. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n1.62028>

Choo, Y., & Nesaretnam, K. (2014). Research advancements in palm oil nutrition. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(10), 1301-1315.

<https://doi.org/10.1002/ejlt.201400076>

Combres, J. C., Pallas, B., Rouan, L., Mialet-Serra, I., Caliman, J. P., Braconnier, S., Soulié, J. Ch., & Dingkuhn, M. (2013). Simulation of inflorescence dynamics in oil palm and estimation of environment-sensitive phenological phases: A model based analysis. *Functional Plant Biology*, 40(3), 263-279. <https://doi.org/10.1071/FP12133>

Corley, R. H. V. (1973). Oil palm physiology: A review. En *Adv. Oil Palm Cultivation* (pp. 37-51).

Corley, R. H. V. (1976). *Inflorescence abortion and sex differentiation*. 1, 37-54.

Corley, R. H. V., & Breure, C. J. (1992). Fruiting Activity, Growth and Yield of Oil Palm. I. Effects of Fruit Removal. *Experimental Agriculture*, 28(1), 99-109.

<https://doi.org/10.1017/S0014479700023048>

- Corley, R. H. V., & Breure, C. J. (1994). Actividad de fructificación, crecimiento y rendimiento de la palma de aceite: I. Efectos de la remoción de frutos. *Revista Palmas*, 15(3), 41-49.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/444>
- Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2009). *La palma de aceite*. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite. [Fedepalma].
- Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2016). *The oil palm* (5.^a ed.). John Wiley & Sons.
- Crane, J. C. (1964). Growth substances in fruit setting and development. *Annual Review of Plant Physiology*, 15, 303-326. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.15.060164.001511>
- Crozier, A., Kamiya, Y., Bishop, G., & Yokota, T. (2000). Biosynthesis of hormones and elicitor molecules. En *Biochemistry and Molecular Biology of Plants* (pp. 850-929). American Society of Plant Physiologists.
- Dafni, A., & Firmage, D. (2000). *Pollen viability and longevity: Practical, ecological and evolutionary implications*. 222, 113-132. <https://doi.org/10.1007/bf00984098>
- Dempsey, W. H. (1962). *Pollen Tube Growth in vivo as a Measure of Pollen Viability*. 138(3538), 436-437. <https://doi.org/10.1126/science.138.3538.436>
- Doaige, A. R., Al-Whaibi, M. H., Siddiqui, M. H., Al Sahli, A. A., & El-Zaidy, M. E. (2013). Effect of GA3 and 2,4-D foliar application on the anatomy of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seedling leaf. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20(2), 141-147.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.12.001>
- Dorcey, E., Urbez, C., Blázquez, M. A., Carbonell, J., & Perez-Amador, M. A. (2009). *Fertilization-dependent auxin response in ovules triggers fruit development through the modulation of gibberellin metabolism in Arabidopsis*. 58, 318-332.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03781.x>

El-Kosary, S. (2009). Effect of NAA, GA3 and cytophex spraying on Samany and Zaghoul date palm yield, fruit retained and characteristics. *Journal of plant production*, 34(4), 3453-3468. <https://doi.org/10.21608/JPP.2009.117168>

Engels, C., Kirkby, E., & White, P. (2012). Mineral Nutrition, Yield and Source-Sink Relationships. En *Mineral Nutrition of Higher Plants* (pp. 85-131). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00005-4>

Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite. [Fedepalma]. (2015). *La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo* (Anuario Estadístico, p. 173). <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

Fernández-Escobar, R., Gómez-Valledor, G., & Rallo, L. (1981). In vitro pollen germination in olive cultivars. *Anales de la Estación Experimental de Aula Dei*, 15, 261-272.

Fishel, F. M. (2006). *Plant Growth Regulators. Document PI-139, Pesticide Information Office, Florida Cooperative Extension Service*. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida.

Fos, M., Nuez, F., & Garcia-Martinez, J. L. (2000). The gene pat-2, which induces natural parthenocarpy, alters the gibberellin content in unpollinated tomato ovaries. *Plant Physiology*, 122(2), 471-480. <https://doi.org/10.1104/pp.122.2.471>

Fos, M., Proaño, K., Nuez, F., & García-Martínez, J. L. (2001). Role of gibberellins in parthenocarpic fruit development induced by the genetic system pat-3/pat-4 in tomato. *Physiologia Plantarum*, 111(4), 545-550. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1110416.x>

Gaaliche, B., Majdoub, A., Trad, M., & Mars, M. (2013). Assessment of pollen viability, germination, and tube growth in eight Tunisian caprifig (*Ficus carica* L.) cultivars. *ISRN Agronomy*, 2013, 1-4. <https://doi.org/10.1155/2013/207434>

- García, J. A., & Yáñez, E. (2000). Aplicación de la metodología alterna para análisis de racimos y muestreo de racimos en tolva. *Revista Palmas*, 21, 303-311.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/799>
- Genty, P., & Ujueta, M. (2013). *Relatos sobre el híbrido interespecífico de palma de aceite OxG - Coarí x La Mé: Esperanza para el trópico*. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite [Fedepalma].
- Girón, E., & Mahecha, X. (2015). Análisis descriptivo de la evolución de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia a partir de los censos palmeros de 1997 y 2011. *Revista Palmas*, 36(2), 13-25.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11074>
- Godefroid, S., Van de Vyver, A., & Vanderborcht, T. (2010). Germination capacity and viability of threatened species collections in seed banks. *Biodiversity and Conservation*, 19(5), 1.365-1.383. <https://doi.org/10.1007/s10531-009-9767-3>
- González, D. A., Cayón, G., López, J. E., & Alarcón, W. H. (2013). Development and maturation of fruits of two Indupalma OxG hybrids (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*). *Agronomía Colombiana*, 31(3), 343-351.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/38213/43576>
- Goodwin, P. B. (1978). Phytohormones and fruit growth. En *Phytohormones and Related Compounds: A Comprehensive Treatise* (pp. 175-216). Elsevier.
- Gorguet, B., van Heusden, A. W., & Lindhout, P. (2005). Parthenocarpic fruit development in tomato. *Plant Biology*, 7(2), 131-139. <https://doi.org/10.1055/s-2005-837494>
- Grossmann, K. (1990). Plant growth retardants as tools in physiological research. *Physiologia Plantarum*, 78(4), 640-648. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1990.tb05254.x>
- Gustafson, F. G. (1960). Influence of gibberellic acid on setting and development of fruits in tomato. *Plant Physiol*, 35(4), 521-523. <https://doi.org/10.1104/pp.35.4.521>

- Haniff, H., & Rosland, M. D. (2002). Fruit set and oil palm bunch components. *Journal of Oil Palm Research*, 14(2), 24-33. <http://jopr.mpob.gov.my/wp-content/uploads/2013/09/jopr14dec2002-haniff1.pdf>
- Hardon, J. J., & Tan, G. Y. (1969a). Interspecific hybrids in the genus *Elaeis* I. crossability, cytogenetics and fertility of F1 hybrids of *E. guineensis* x *E. oleifera*. 18, 372-379. <https://doi.org/10.1007/BF00397784>
- Hardon, J. J., & Tan, G. Y. (1969b). Interspecific hybrids in the genus *Elaeis* I. crossability, cytogenetics and fertility of F1 hybrids of *E. guineensis* x *E. oleifera*. *Euphytic*, 18, 372-379. <https://doi.org/10.1007/BF00397784>
- Hardon, J. J., & Turner, P. D. (1967). Observations on natural pollination in commercial plantings of oil palm (*Elaeis guineensis*) in Malaysia. *Experimental Agriculture*, 3(2), 105-116. <https://doi.org/10.1017/S0014479700021864>
- Hartley, C. W. S. (1988). *The oil palm*. Longmans Green.
- Hedden, P., & Hoad, G. V. (1985). Hormonal regulation of fruit growth and development. *Brit. Plant Growth Regulator Group Monogr*, 12, 211-225.
- Hedhly, A. (2011). Sensitivity of flowering plant gametophytes to temperature fluctuations. *Expert Opinion on Biological Therapy*, 74, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.03.016>
- Henson, I. E. (1990). Retardation of inflorescence growth in oil palm. *Transactions of the Malaysian Society of Plant Physiology*, 1, 207-214.
- Henson, I. E., Ruiz, R., & Romero, H. M. (2011). The growth of the oil palm industry in Colombia. *Journal of Oil Palm Research*, 23(3), 1.121-1.128. <http://jopr.mpob.gov.my/the-growth-of-the-oil-palm-industry-in-colombia/>
- Hormaza Martínez, P. A., Forero Hernández, D. C., Ruiz Romero, R., & Romero Angulo, H. M. (2010). Fenología de la palma de aceite africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) y del híbrido interespecífico (*Elaeis oleifera* [Kunt] Cortes x *Elaeis guineensis* Jacq). Cenipalma.

- <https://repositorio.fedepalma.org/bitstream/handle/123456789/80999/Fenologia%20de%20la%20palma%20de%20aceite%20africana%20y%20del%20h%C3%ADbrido.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hormaza, P., Forero, D., Ruiz, R., & Romero, E. (2011). *Fenología de la palma de aceite africana (Elaeis guineensis Jacq.) y del híbrido interespecífico (Elaeis oleifera x Elaeis guineensis Jacq.)*. Cenipalma.
- Hormaza, P., Mesa Fuquen, E., & Romero, H. M. (2012). Phenology of the oil palm interespecific hybrid *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*. *Scientia Agricola*, 69(4), 275-280.
<https://doi.org/10.1590/S0103-90162012000400007>
- Icontec. (2009). *Norma técnica colombiana 5713: Aceite de palma alto oleico OxG (Elaeis oleifera x Elaeis guineensis)*. Icontec.
- Ingrasso, I., Bonsegna, S., Domenico, S., Laddomada, B., Blando, F., Santino, A., & Giovinazzo, G. (2011). Over-expression of a grape stilbene synthase gene in tomato induces parthenocarpy and causes abnormal pollen development. *Plant Physiology and Biochemistry*, 49(10), 1.092-1.099. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2011.07.012>
- Khairudin, H., & Teoh, C. H. (1988). *Herbicide induced parthenocarpy in oil palm—Preliminary screening of herbicides*. 210-214. <http://agris.upm.edu.my:8080/dspace/handle/0/3430>
- Khosla, P. (2014). Efectos del aceite de palma en la salud humana. Más allá del perfil de ácidos grasos. *Revista Palmas*, 35(2), 59-72.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10980>
- Kokubun, M., Shimada, S., & Takahashi, M. (2001). Flower abortion caused by preanthesis water deficit is not attributed to impairment of pollen in soybean. *Crop Science*, 41, 1.517-1.521.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2001.4151517x>
- La Cabaña S.A. (2009). *Multimedia interactivo: Palma de aceite alto oleico (híbrido OxG)*.

- Labarca, M., Portillo, E., Portillo, A., & Morales, E. (2009). Estructuras reproductivas y polinización entomófila en tres lotes comerciales de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el estado Zulia, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad Del Zulia*, 26(1), 1-22.
<https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/26795>
- Lagos B., T. C., Bacca, T., Herrera P., D. M., & Delgado T., J. L. (2015). Biología reproductiva y polinización artificial del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* (cav.) sendt). *Boletín Científico Del Centro de Museos*, 19(2), 60-73. <https://doi.org/10.17151/bccm.2015.19.2.3>
- Lagos, T. C., Caetano, C. M., Vallejo, F. A., Muñoz, J. E., Criollo, H., & Olaya, C. (2005). Caracterización palinológica y viabilidad polínica de *Physalis peruviana* L. y *Physalis philadelphica* Lam. *Agronomía Colombiana*, 23(1), 55-61.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/19906>
- Larkindale, J., Hall, J. D., Knight, M. R., & Vierling, E. (2005). Heat stress phenotypes of *Arabidopsis* mutants implicate multiple signaling pathways in the acquisition of thermotolerance. *Plant Physiology*, 138, 882-897. <https://doi.org/10.1104/pp.105.062257>
- Larkindale, J., & Huang, B. (2004). Thermo tolerance and antioxidant systems in *Agrostis stolonifera*: Involvement of salicylic acid, abscisic acid, calcium, hydrogen peroxide, and ethylene. *Journal of Plant Physiology*, 161(4), 405-413. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-01239>
- Lewis, D. H., Burge, G. K., Schmierer, D. M., & Jameson, P. E. (1996). Cytokinins and fruit development in the kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). I. Changes during fruit development. *Physiologia Plantarum*, 98, 179-186. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1996.980122.x>
- Leyser, O., & Day, S. (2015). Signal Transduction. En *Biochemistry and Molecular Biology of Plants* (2.^a ed., pp. 834-871). John Wiley & Sons.

- Lin, Y., Wang, Y., Iqbal, A., Shi, P., Li, J., Yang, Y., & Lei, X. (2017). Optimization of culture medium and temperature for the in vitro germination of oil palm pollen. *Scientia Horticulturae*, 220, 134-138. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.040>
- Luckwill, L. C. (1970). *The control of growth and fruitfulness of apple trees* (pp. 237-253). Academia Press.
- Macfarlane, N., Swetman, T., & Cornelius, J. A. (1975). Analysis of mesocarp and kernel oils from the american oil palm and F1 hybrids with the west african oil palm. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 26, 1.293-1.298.
- Márquez Guzmán, J. (2013). *Biología de angiospermas*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. (3.^a ed.). Elsevier.
- Marutani, M., Sheffer, R. D., & Kamemoto, H. (1993). Cytological Analysis of Anthurium andraeanum (Araceae), Its Related Taxa and Their Hybrids. *American Journal of Botany*, 80(1), 93-103. <http://www.jstor.org/stable/2445125>
- Mascarenhas, J. P. (1975). The Biochemistry of Angiosperm Pollen Development. *Botanical Review*, 41(3), 259-314. <https://www.jstor.org/stable/4353883>
- McKellar, M., & Quesenberry, K. (1992). Chromosome pairing and pollen viability in *Desmodium ovalifolium* Wall x *Desmodium heterocarpon* (L.) DC hybrids. *Australian Journal of Botany*, 40(2), 243-247. <https://doi.org/10.1071/BT9920243>
- Meléndez M., & Ponce, W. (2016). Pollination in the oil palms *Elaeis guineensis*, *E. oleifera* and their hybrids OxG. in tropical America. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 46(1), 102-110. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v46i38196>
- Menéndez, T. M., & Black, G. (1963). *11th Ann. Report. W. Afr.* West African Institute for Oil Palm Research.

- Mesejo, C., Martínez-Fuentes, A., Reig, C., & Agustí, M. (2008). Gibberellic acid impairs fertilization in Clementine mandarin under cross-pollination conditions. *Plant Science*, 175(3), 267-271. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2008.04.008>
- Mesejo Conejos, C. (2012). *Citricultura. El cuajado del fruto. Polinización y partenocarpia. Las giberelinas*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/16898>
- Meunier, J. (1975). Le palmier à huile américain *Elaeis melanococca*. *Oléagineux*, 30(2), 51-61. <https://agritrop.cirad.fr/439820/1/ID439820.pdf>
- Meunier, J. (1991). Una posible solución genética para el control de la Pudrición del cogollo en la palma aceitera: Híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*. *Revista Palmas*, 12(2), 39-44.
- Mignolli, F., Mariotti, L., Lombardi, L., Vidoz, M. L., Ceccarelli, N., & Picciarelli, P. (2012). *Tomato fruit development in the auxin-resistant dgt mutant is induced by pollination but not by auxin treatment*. 169, 1.165-1.172. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.04.005>
- Mohd, H. H. (2000). Yield and yield components and their physiology. En *Advances in oil palm research* (Vol. 1-I, pp. 146-170). Malaysian Palm Oil Board.
- Montalt Resurrección, R. (2009). *Partenocarpia en cítricos. Estudio preliminar para la caracterización del banco de germoplasma de cítricos del IVIA* [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/14534/partenocarpia%20en%20citricos.pdf?sequence=1>
- Montoya, C., Lopes, R., Flori, A., Cros, D., Cuéllar, T., Summo, M., Speout, S., Rivallan, R., Risterucci, A. M., Bittencourt, D., Zambrano, J. R., Alarcón, W. H., Villeneuve, P., Pina, M., Nouy, B., Amblard, P., Ritter, E., Leroy, T., & Billotte, N. (2013). Quantitative trait loci (QTLs) analysis of palm oil fatty acid composition in an interspecific pseudo-

- backcross from *Elaeis oleifera* (H.B.K.) Cortés and oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Tree Genetics & Genomes*, 9, 1207-1225. <https://doi.org/10.1007/s11295-013-0629-5>
- Moreno Corredor, E., García, J. M., Díaz Rangel, C. A., Meneses, H. M., Ramírez Contreras, N. E., & García Nuñez, J. A. (2018). Optimización de la medición del potencial industrial de aceite. *Revista Palmas*, 38(4), 98-107.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12359>
- Mosquera, M., Valderrama, M., Fontanilla, C., Ruiz, C., Uñate, M., Rincón, F., & Arias, N. (2016). Costos de producción de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia en 2014. *Revista Palmas*, 37(2), 37-53.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11737>
- Mozzon, M., Pacetti, D., Lucci, P., Balzano, M., & Frega, N. G. (2013). Crude palm oil from interspecific hybrid *Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*: Fatty acid regiodistribution and molecular species of glycerides. *Food Chemistry*, 141(1), 245-252.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.016>
- Murphy, D. J. (2014). The future of oil palm as a major global crop: Opportunities and challenges. *Journal of Oil Palm Research*, 26(1), 1-24. <http://jopr.mpob.gov.my/the-future-of-oil-palm-as-a-major-global-crop-opportunities-and-challenges/>
- Nitsch, J. P. (1950). Growth and morphogenesis of strawberry as related to auxin. *American Journal of Botany*, 37(3), 211-215. <https://doi.org/10.2307/2437903>
- Nitsch, J. P. (1971). Perennation through seeds and other structure fruit development. En *Plant Physiology* (pp. 413-501). Academic Press.
- Nitsche, K., Grossmann, K., Sauerbrey, E., & Jung, J. (1985). Influence of the growth retardant tetcyclacis on cell division and cell elongation in plants and cell cultures of sunflower, soybean, and maize. *Journal of Plant Physiology*, 118(3), 209-218.
[https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(85\)80222-4](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(85)80222-4)

Ohara, H., Izawa, J., Kimura, S., Hiroi, N., Matsui, H., Hirata, N., & Takahashi, E. (1997).

Induction of fruit set and growth of parthenocarpic «Hayward» kiwifruit with plant growth regulators. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 66, 467-473.

<https://doi.org/10.2503/jjshs.66.467>

Opute, F. I., & Obasola, C. O. (1979). Breeding for Short-stemmed Oil Palm in Nigeria: Fatty

Acids, their Significance and Characteristics. *Annals of Botany*, 43(6), 677-681.

<https://doi.org/10.2307/42761842>

Orillo, M., & Bonierbale, M. (2009). *Biología reproductiva y citogenética de la papa*. Centro

Internacional de la Papa. CIP.

https://www.academia.edu/36873312/Biolog%C3%ADa_reproductiva_y_citogen%C3%A9tica_de_la_papa_Red_LatinPapa_Centro_Internacional_de_la_Papa_CIP

Ospina M., M. C., & Ligarreto M., G. A. (2000). Análisis de la calidad del polen en genotipos de papa *Solanum tuberosum* ssp. Andígena y reacción a *Phytophthora infestans* en progenies.

Agronomía Colombiana, 17, 69-72. [http://www.bdigital.unal.edu.co/24427/1/21588-](http://www.bdigital.unal.edu.co/24427/1/21588-73851-1-PB.pdf)

[73851-1-PB.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/24427/1/21588-73851-1-PB.pdf)

Pallardy, S. G. (2008). *Physiology of woody plants* (3.^a ed.). [https://doi.org/10.1016/B978-](https://doi.org/10.1016/B978-012088765-1.50001-4)

[012088765-1.50001-4](https://doi.org/10.1016/B978-012088765-1.50001-4)

Patterson, K. J., Mason, K. A., & Gould, K. S. (1993). Effects of CPPU (N-(2-chloro-4-pyridyl)-N-

phenylurea) on fruit growth, maturity and storage quality of kiwifruit, New Zealand.

Journal of Crop and Horticultural Science, 21, 253-261.

<https://doi.org/10.1080/01140671.1993.9513777>

Pelaez R., E. E., Ramirez M., D. P., & Cayón S., G. (2010). Fisiología comparada de palmas

africana (*Elaeis guineensis* Jacq.), americana (*Elaeis oleifera* hbk Cortes) e híbridos (E.

oleifera x *E. guineensis*) en Hacienda La Cabaña. *Revista Palmas*, 31(2), 29-38.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1476/1476>

- Pharis, R. P., & King, R. W. (1985). Gibberellins and reproductive development in seed plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 36, 517-568.
<https://doi.org/10.1146/annurev.pp.36.060185.002505>
- Pio, L. A. S., Ramos, J. D., Pasqual, M., Junqueira, K. P., Santos, F. C., & Rufini, J. C. M. (2007). Viabilidade do pólen de laranjas doces em diferentes condições de armazenamento. *Ciência e Agrotecnologia*, 31(1), 147-153. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000100022>
- Prada, F., & Romero, A. (2012). *Muestreo y análisis de racimos en el cultivo de la palma de aceite*. Centro Nacional de Investigación en palma de aceite [Cenipalma].
- Preciado Q., C. A., Bastidas, P. S., Betancourth, G. C., Peña R., E., & Reyes, C. R. (2011a). Predicción y control de la cosecha en el híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* en la zona palmera occidental de Colombia I. Determinación del período de madurez para obtener racimos de alto contenido de aceite. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(1), 5-12. https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:210
- Preciado Q., C. A., Bastidas, P. S., Betancourth, G. C., Peña R., E., & Reyes, C. R. (2011b). Predicción y control de la cosecha en el híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* en la zona palmera occidental de Colombia. II. Determinación del ciclo de cosecha para obtener racimos de alto contenido de aceite. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(1), 13-19. https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:210
- Prieto, A., Ochoa, I., & Cayón, D. G. (2015). *Efecto de la aplicación de auxinas y giberelinas en la formación de frutos partenocárpicos en los híbridos *Elaeis oleifera* H.B.K. Cortés x *Elaeis guineensis* Jacq.* XVIII Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite, Cartagena, Colombia.
- Quan Yu, J. (1999). Parthenocarpy induced by N-(2-chloro-4-pyridyl)-N'-phenylurea (CPPU) prevents flower abortion in Chinese white-flowered gourd (*Lagenaria leucantha*).

Environmental and Experimental Botany, 42(2), 121-128. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(99\)00025-8](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(99)00025-8)

Quijada, O., Camacho, R., Rivas, J., & Fonseca, Y. (1999). *Partenocarpia del mango «Haden» en la planicie de Maracaibo*. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Zulia. http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd64/texto/mango.htm

Rao, S. S. R., Vardhini, B. V., Sujatha, E., & Anuradha, S. (2002). Brassinosteroids—A new class of phytohormones. *Current Science*, 82(10), 1.239-1.245. <https://www.jstor.org/stable/24107046>

Rebers, M., Kaneta, T., Kawaide, H., Yamaguchi, S., Yang, Y., Imai, R., Sekimoto, H., & Kamiya, Y. (1999). Regulation of gibberellin biosynthesis genes during flower and early fruit development of tomato. *Plant Journal*, 17, 241-250. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.1999.00366.x>

Redshaw, M. (2012). *Utilización de los Residuos del Campo y de los Subproductos de la Planta Extractora* (Palma de aceite: manejo para rendimientos altos y sostenibles). 337-350

Rejón, J. D., Suárez, C. G., Alché, J. D., Castro, A. J., & Rodríguez-García, M. I. (2010). Evaluación de diferentes métodos para estimar la calidad del polen en distintos cultivares de olivo (*Olea europaea* L.). *Polen*, 20, 61-72. <https://doi.org/10.14201/pol.v20i0.8921>

Rey Bolivar, L., Ayala, I., Delgado Ayala, W., & Rocha Salavarieta, P. J. (2003). *Colecta de material genético de la palma amaricana noli elaeis oleifera (H.B.K.) cortex en el trapecio amazónico* (N.º 101; Ceniavances, pp. 1-4). Cenipalma. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/ceniavances/article/view/10364/10354>

Rey Bolivar, L., Gómez C., P. L., Ayala D., I., Delgado A., W., & Rocha S., P. (2004). Colecciones genéticas de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) y (*Elaeis oleífera* H.B.K.) de Cenipalma: Características de importancia en el sector palmicultor. *Revista*

Palmas, 25, 39-48.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1065>

- Rincón, S. M., Hormaza, P. A., Moreno, L. P., Prada, F., Portillo, D. J., García, J. A., & Romero, H. M. (2013). Use of phenological stages of the fruits and physicochemical characteristics of the oil to determine the optimal harvest time of oil palm interspecific O_xG hybrid fruits. *Industrial Crops and Products*, 49, 204-210. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.035>
- Rivera, Y. D., Cayón, D. G., & López, J. E. (2013). Physiological and morphological characterization of american oil palms (*Elaeis oleifera* HBK Cortes) and their hybrids (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) on the Indupalma plantation. *Agronomía Colombiana*, 31(3), 314-323. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/39631>
- Robinson, R., Cantliffe, D., & Shannon, S. (1971). Morphactin-induced parthenocarpy in Cucumber. *Science*, 171, 1.251-1.252. <https://doi.org/10.1126/science.171.3977.1251>
- Rocha S., P. J., Prada C., F., Rey B., L., & Ayala D., I. M. (2006). Caracterización bioquímica parcial de la colección de *Elaeis oleifera* de Cenipalma proveniente de la Amazonia colombiana. *Revista Palmas*, 27(3), 35-44. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1187>
- Rodríguez, A., Daza, E., Romero, R., & Romero, H. (2011). *Polinización asistida en palma de aceite. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: Guía para facilitadores*.
- Rodríguez Rojas, T. J., Andrade Rodríguez, M., Canul Ku, J., Castillo Gutiérrez, A., Martínez Fernández, E., & Guillén Sánchez, D. (2015). Viabilidad de polen, receptividad del estigma y tipo de polinización en cinco especies *Echeveria* en condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(1), 111-123. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i1.743>

- Rodriguez-Nieto, J. A., & Mollick, A. V. (2021). The US financial crisis, market volatility, credit risk and stock returns in the Americas. *Financial Markets and Portfolio Management*, 35(2), 225-254. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s11408-020-00369-x>
- Rosero Estupiñán, G., & Santacruz Arciniegas, L. (2014). Efecto de la polinización asistida en la conformación del racimo en material híbrido OxG en la plantación Guaicaramo S.A. *Revista Palmas*, 35(4), 11-19. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11028>
- Rosero Estupiñán, G., Santacruz Arciniegas, L., & Carvajal, S. (2017). Influencia del destape de la inflorescencia en la polinización asistida del híbrido OxG. *Revista Palmas*, 38(1), 49-62. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12044>
- Ruíz, E., Fontanilla, C., Mesa, E., Mosquera, M., Molina, D., & Rincón, A. (2015). Prácticas de manejo y costos de producción de la palma de aceite híbrido OxG en plantaciones de la Zona Oriental y Suroccidental de Colombia. *Revista Palmas*, 36(4), 11-29. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11642>
- Sakata, T., & Higashitani, A. (2008). Male sterility accompanied with abnormal anther development in plants-genes and environmental stresses with special reference to high temperature injury. *International Journal of Plant Developmental Biology*, 2(1), 42-51. [http://globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/0806/IJPDB_2\(1\)/IJPDB_2\(1\)42-51o.pdf](http://globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/0806/IJPDB_2(1)/IJPDB_2(1)42-51o.pdf)
- Sakata, T., Oshino, T., Miura, S., Tomabechi, M., Tsunaga, Y., Higashitani, N., Miyazawa, Y., Takahashi, H., Watanabe, M., & Higashitani, A. (2010). Auxins reverse plant male sterility caused by high temperatures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(19), 8569-8574. <https://doi.org/10.1073/pnas.1000869107>
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1985). *Plant Physiology* (3.^a ed.). Wadsworth Publishing Co.
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1992). *Plant Physiology* (4.^a ed.). John Wiley & Sons.

- Salles, L. A., Ramos, J. D., Pasqual, M., Junqueira, K. P., & Silva, A. B. da. (2006). Sacarose e pH na germinação in vitro de grãos de pólen de citros. *Ciência e Agrotecnologia*, 30(1), 170-174. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000100025>
- Sánchez Rodríguez, Á., Daza, E. S., Ruiz Romero, R., & Romero Angulo, H. M. (2011). *Polinización asistida en palma de aceite. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: Guía para facilitadores*. Cenipalma. <http://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/107703>
- Sánchez Rodríguez, L. Á., & Romero, H. M. (2013). *Viabilidad y morfología del polen de diferentes materiales de palma de aceite* (Ceniavances N.º 171). Cenipalma.
- Sedgely, M., & Harbard, J. (1993). *Pollen storage and breeding systems in relation to controlled pollination of four species of Acacia (Leguminosae: Mimosoideae)*. 41, 601-609. <https://doi.org/10.1071/BT9930601>
- Seop, K., Hiroshi, O., & Kunimitsu, F. (1992). *Endogenous levels of IAA in relation to parthenocarpy in cucumber (Cucumis sativus L.)*. 52(1-2), 1-8. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(92\)90002-T](https://doi.org/10.1016/0304-4238(92)90002-T)
- Serna Mondragón, A., & Pinilla Betancourt, C. (2015). Aceite de palma alto oleico: Propiedades físicoquímicas y beneficios para la salud humana. *Revista Palmas*, 36(4), 57-66. <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11645>
- Shivanna, K. R. (2003). *Pollen biology and biotechnology*. Science Publishers.
- Shivanna, K. R., & Tandon, R. (2014). *Reproductive ecology of flowering plants: A manual*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2003-9>
- Sparnaaij, L. D. (1959). *The analysis of bunch production in the oil palm*. <https://edepot.wur.nl/183270>
- Sparnaaij, L. D. (1962). *10th Ann. Report. W. Afr. Inst. Oil Palm Res.*

- Stanley, R. G., & Linskens. (1974). Viability Test. En *Pollen-biology, biochemistry and management* (pp. 67-86). Springer Verlag.
- Sunil Kumar, K., Mathur, R., & SparjanBabu, D. (2011). *Efficacy of Dyes and Media on Pollen Viability and Germinability in Oil Palm (Elaeis guineensis Jacq.)*. 8(1), 9-12.
- Sunil Kumar, K., Mathur, R., SparjanBabu, D., & Reddy, A. (2013). *Pollen viability and vigour in interspecific hybrids (E. guineensis x E.oleifera) of oil palm*. 41(1), 91-94.
<https://updatepublishing.com/journal/index.php/JPC/article/view/5908>
- Syafiq, M., Nur Atiqah, A. R., Ghazali, A., Asmah, S., Yahya, M. S., Aziz, N., Puan, C. L., & Azhar, B. (2016). Responses of tropical fruit bats to monoculture and polyculture farming in oil palm smallholdings. *Acta Oecologica*, 74, 11-18.
<https://doi.org/10.1016/j.actao.2016.06.005>
- Syed, R. A. (1979). Studies on oil palm pollination by insects. *Bulletin of Entomological Research*, 69(2), 213-224. <https://doi.org/10.1017/S0007485300017673>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology* (4.^a ed.). Sinauer Associates.
- Takagi, T., Murai, H., Ueda, R., & Suzuki, T. (1994). *Effect of application of gibberellic acid and N-(2-chloropyridyl)-N'-phenylurea on the enlargement of frost-induced seedless fruit of loquat (Eriobotrya japonica Lindl.)*. 62(4), 733-739.
<https://wenku.baidu.com/view/a43da6573169a4517723a3da.html>
- Talanova, V., Akimova, T., & Titov, A. (2003). Effect of whole plant and local heating on the ABA content in cucumber seedling leaves and roots and on their heat tolerance. *Russian Journal of Plant Physiology*, 50, 90-94. <https://doi.org/10.1023/A:1021996703940>
- Talón, M., Hedden, P., & Primo-Millo, E. (1990). Gibberellins in *Citrus sinensis*: A comparison between seeded and seedless varieties. *Journal of Plant Growth Regulation*, 9(4), 201-206.
<https://doi.org/10.1007/BF02041963>

- Tam, T. K. (1981). Investigations into fruit-set capacities of the *Elaeis oleifera* under controlled pollination conditions and germination requirements of the *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* (pisifera) hybrid. *The Planter*, 57, 444-451.
- Tan, Y. P. (1985). *Weevil pollination in the Elaeis oleifera x Elaeis guineensis hybrid*. 34-40.
- Tandon, R., Manohara, T., Nijalingappa, B., & Shivanna, K. (2001). Pollination and Pollen-pistil interaction in Oil palm, *Elaeis guineensis*. *Annals of Botany*, 87(6), 831-838.
<https://www.jstor.org/stable/42771002>
- Taylor, L. P., & Hepler, P. K. (1997). *Pollen germination and tube growth*. 48(1), 461-491.
<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.48.1.461>
- Thomas, R. L., Seth, A. K., Chan, K. W., & Ooi, S. C. (1973). Induced Parthenocarpy in the oil palm. *Annals of Botany*, 37(151), 447-452. <https://www.jstor.org/stable/42759421>
- Tiwari, A., Remko, O., & Heuvelink, P. (2012). *Auxin-induced Fruit Set in Capsicum annum L. Requires Downstream Gibberellin Biosynthesis*. 31, 570-578.
<https://doi.org/10.1007/s00344-012-9267-7>
- Torres, G. A., Sarria, G. A., Varon, F., Coffey, M. D., Elliot, M., & Martinez, G. (2010). First report of bud rot caused by *Phytophthora palmivora* on African oil palm in Colombia. *Plant Disease*, 94, 1.163. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-9-1163A>
- Turner, P. D., & Gillbanks, R. A. (1974). Oil palm cultivation and management. En *The Incorporated Society of Planters*. Kuala Lumpur.
- Uhl, C. H. (1982). The problem of ploidy in echeveria (Crassulaceae). II. tetraploidy. *American Journal of Botany*, 69(9), 1497-1511. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1982.tb13399.x>
- Vardi, A., Levin, I., & Carmi, N. (2008). Induction of seedlessness in Citrus: From classical techniques to emerging biotechnological approaches. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133(1), 117-126. <https://doi.org/10.21273/JASHS.133.1.117>

- Vardi, A., Neumann, H., Frydman-Shani, A., Yaniv, Y., & Spiegel-Roy, P. (2000). Tentative model on the inheritance of juvenility, self-incompatibility and parthenocarpy. *Acta Horticulturae*, 535, 199-205. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.535.24>
- Wan, C. K. (1987). *Development of parthenocarpic fruits in oil palm (Elaeis guineensis Jacq.) due to application of herbicides*. 63(732), 90-95.
- Wassmann, R., Jagadish, S. V. K., Sumfleth, K., Pathak, H., Howell, G., Ismail, A., Serraj, R., Redona, E., Singh, R. K., & Heuer, S. (2009a). *Regional Vulnerability of Climate Change Impacts on Asian Rice Production and Scope for Adaptation*. 102, 91-133. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(09\)01003-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01003-7)
- Wassmann, R., Jagadish, S. V. K., Sumfleth, K., Pathak, H., Howell, G., Ismail, A., Serraj, R., Redona, E., Singh, R. K., & Heuer, S. (2009b). Regional Vulnerability of Climate Change Impacts on Asian Rice Production and Scope for Adaptation. *Advances in Agronomy*, 102, 91-133. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(09\)01003-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01003-7)
- Yamaguchi, S. (2008). Gibberellin metabolism and its regulation. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 225-251. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092804>
- Yáñez, E., García, J., & Amaya, S. (2000). Metodología alterna para el análisis de racimos de palma de aceite. *Revista Palmas*, 21(1), 295-303. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/798>
- Yáñez, E., García, J., Fernández, C., & Rueda, C. (2006). *Guía de análisis de racimo*. Cenipalma.
- Zambrano R., J. E. (2004). Híbridos interespecíficos *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*. Una alternativa de renovación para la zona oriental de Colombia. *Revista Palmas*, 25, 339-349. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1098>

2. Capítulo 2. Influencia de dosis de polen en la producción de racimos y aceite de híbridos OxG (*Elaeis oleifera* Kunth Cortes x *Elaeis guineensis* Jacq.)

Resumen

Los híbridos *OxG* de palma de aceite (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) producen pocas inflorescencias masculinas con anthesis irregular lenta y polen de baja viabilidad que afecta su polinización natural. Esto hace necesaria la práctica de polinización asistida de las plantaciones para garantizar la formación de la mayoría los frutos del racimo. En los híbridos Coarí x La Mé y (Sinú x Coarí) x La Mé se estudió la influencia de cinco dosis de polen (0, 0,01, 0,05, 0,1, 0,15 g/inflorescencia) sobre el peso del racimo, frutos normales y partenocárpicos, Fruit set y potencial de aceite/racimo. El diseño experimental fue completamente al azar (DCA), en arreglo factorial 2x5, factor 1 los dos híbridos y factor 2 las dosis de polen, cuatro repeticiones y nueve inflorescencias/repetición. El peso del racimo fue mayor con la dosis 0,05 g/inflorescencia y menor con la polinización natural. El mayor Fruit set se obtuvo con dosis de 0,1 g/inflorescencia, y el porcentaje de aceite/racimo fue superior con 0,05 g/inflorescencia y menor con 0,01 g/inflorescencia. Los resultados confirman la necesidad de la polinización asistida en los híbridos *OxG*.

Palabras clave: palma de aceite, polinización, partenocarpia, Fruit set, potencial de aceite

Abstract

OxG oil palm hybrids (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) produce a small number of male inflorescences, with an irregular, slow anthesis phase and low-viability pollen that affect natural pollination, making the agronomic practice of assisted pollination necessary for plantations in order to guarantee the formation of the majority of fruit bunch. In the hybrids Coarí x La Mé and

(Sinú x Coarí) x La Mé, the influence of five doses of pollen (0, 0.01, 0.05, 0.1, 0.15 g/inflorescence) on bunch weight, normal and parthenocarpic fruits, fruit set and oil/bunch potential has been studied. The experiment design was completely randomized (DCA), with four repetitions and nine inflorescences/repetition. The bunch weight was higher with the 0.05 g/inflorescence dose and lower with the natural pollination. The greatest fruit set was obtained with the dose of 0.1 g/inflorescence, and the oil/bunch percentage was higher with 0.05 g/inflorescence and lower with 0.01 g/inflorescence. The results confirm the need for assisted pollination in hybrid materials. The results confirm the need for assisted pollination in *OxG* hybrid.

Keywords: oil palm, pollination, parthenocarpy, Fruit set, oil potential

1.5 Introducción

Los híbridos *OxG* son productos del cruzamiento entre palmas de aceite americana (*Elaeis oleifera*) y africana (*Elaeis guineensis*) y comenzaron a ser estudiados en 1970 porque algunos cruzamientos mostraron resistencia a la enfermedad Pudrición del Cogollo (PC) y producciones superiores a 30 t de RFF/ha/año (Genty & Ujueta, 2013). Estos híbridos son una alternativa valiosa para la producción de aceite por sus características de tolerancia a las plagas y enfermedades, producción de RFF (25 a 30 t/ha) y de extracción de aceite en planta de beneficio (18,0%) (Zambrano R., 2004). Además, su aceite es de alta calidad (oleico 55%, linoleico 11%) y contenidos importantes de vitamina E total (tocotrienoles 980 ppm, tocoferoles 100 ppm) (Mozzon et al., 2013; Serna Mondragón & Pinilla Betancourt, 2015) y carotenos (1.375 - 1.628 ppm) (Choo & Nesaretnam, 2014; Pelaez R. et al., 2010; Rey Bolivar et al., 2003, 2004; Rivera et al., 2013; Rocha S. et al., 2006). Una de las características de los racimos de híbridos es la presencia de más frutos partenocárpicos (FP) en comparación con los frutos normales (FN). El color y porcentaje de aceite de los FP rojos son similares a los de los FN, mientras que los FP blancos no tienen aceite (González et al., 2013; Yáñez et al., 2006). La ventaja de los FP rojos de los híbridos es que desarrollan y maduran como los FN y contienen más aceite debido a su mayor proporción de mesocarpio que puede alcanzar el 98% del fruto (Bastidas et al., 2007; Preciado Q. et al., 2011a). Además, la contribución de los FP rojos al % total de aceite del racimo es mayor (20 – 50%) que el de los FN (Preciado Q. et al., 2011b).

Estudios sobre el desarrollo fisiológico del racimo de los híbridos *OxG* han mostrado que los frutos tienen problemas de llenado y maduración debidos, probablemente, a la apertura asincrónica de las

flores o a una polinización insuficiente (González et al., 2013; Hormaza et al., 2012). Además, las inflorescencias femeninas están cubiertas por espatas fibrosas que dificultan la entrada del polen y del polinizador, lo cual se traduce en un porcentaje considerable de racimos con frutos abortados (FA) y menor potencial de aceite por racimo (Á. Sánchez Rodríguez et al., 2011; Zambrano R., 2004). Por esto, en las plantaciones de híbridos se realiza la práctica de polinización asistida que consiste en aplicar polen de palmas *E. guineensis* a las inflorescencias de las palmas híbridas para garantizar que sus flores femeninas en anthesis reciban suficiente polen para el desarrollo de los frutos (Haniff & Rosland, 2002), en un estudio de polinización asistida en palmas Ténera de 12 años de edad en Malasia, evaluaron dosis crecientes de polen (0,0001; 0,001; 0,01; 0,1; 1,0 y 5,0 g/inflorescencia) y encontraron que la dosis de 0,01 g/inflorescencia aumentó significativamente el peso del racimo. Como resultado de los estudios de polinización de híbridos *OxG* en Colombia, se recomienda la dosis de 0,16 a 0,21 g/inflorescencia para palmas jóvenes (3-5 años) y de 0,21 a 0,33 g /inflorescencia para palmas adultas (> 5 años) (Á. Sánchez Rodríguez et al., 2011). Como la polinización asistida es una práctica agronómica de costos altos en las plantaciones, es necesario generar programas de manejo específicos para los materiales híbridos donde se definan las dosis óptimas de polen viable a utilizar que garanticen la formación de frutos y contribuyan a la reducción de costos de esta práctica agronómica. El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de varias dosis de polen sobre el desarrollo de frutos y producción potencial de aceite de híbridos *OxG*.

2.1. Materiales y métodos

2.2.1 Localización y material vegetal

El estudio se realizó en los híbridos *OxG* Coarí x La Mé (CxLM) y (Sinú x Coarí) x La Mé (SxCxLM), en un campo experimental de Indupalma en San Alberto, Cesar, Colombia (10° 20' N 73°11' W, a 125 msnm, temperaturas media 30 °C, máxima 34 °C, mínima 22 °C, humedad relativa 72%, precipitación anual 2.497 mm/año, evaporación anual 1.208 mm y 2.130 horas de brillo solar/año.

1.2.2 Diseño y análisis estadístico

Se evaluó la respuesta de los dos híbridos a cuatro dosis de polen (0,15 0,10 0,05 0,01 g/inflorescencia) y al testigo polinización natural, en un diseño completamente al azar (DCA), en

arreglo factorial 2x5 (factor 1 los híbridos y factor 2 las dosis de polen), cuatro repeticiones y nueve inflorescencias/repetición. Los datos se sometieron al análisis de varianza y para las diferencias entre los tratamientos se utilizó la prueba de Duncan ($p \leq 0,05$) con el programa estadístico SAS® 9.0.

1.2.3 Polinización

El polen utilizado en los experimentos provino de palmas africanas Ténera seleccionadas, donde las inflorescencias masculinas se cortaron en antesis (estadio 607) según la escala propuesta por (Hormaza et al., 2012), se llevaron al Laboratorio de Semillas de Indupalma, se separaron las espigas digitiformes sobre papel kraft y se secaron en un horno de ventilación forzada por 12 horas a 39°C hasta una humedad del 6%; luego se sacudieron cuidadosamente para liberar el polen de las anteras el cual fue cribado con tamices No. 100 y 200 para retirarle impurezas, se empacó al vacío y fue almacenado a -4°C. Se utilizó polen con germinación mínima de 76%, determinada antes de la aplicación de los tratamientos mediante la prueba descrita por (Turner & Gillbanks, 1974).

La selección de las inflorescencias se basó en la escala fenológica propuesta por (Hormaza et al., 2012). Se escogieron inflorescencias femeninas en el estadio fenológicos 602 o preantesis II (**Figura 2-1 A**), luego se les retiraron las espatas (**Figura 2-1 B**) y se cubrieron con bolsas de aislamiento ajustadas en la base con una banda elástica para evitar su contaminación con polen natural circundante (**Figura 2-1 C**). Los tratamientos de polinización se realizaron cuando las inflorescencias alcanzaron el estadio de antesis (estado fenológico 607), esto es, cuando más del 80% de las flores tenían los estigmas receptivos de color crema (Hormaza et al., 2011) (**Figura 2-1 D**). Antes de la aplicación del polen se verificó que dentro de las inflorescencias femeninas embolsadas no se encontraran insectos vivos para evitar cualquier tipo de contaminación con polen extraño; en seguida, se asperjó generosamente el polen mezclado con talco inerte como agente transportador (proporción 1:9), a través de un pequeño orificio abierto con un punzón en la ventana plástica de las bolsas de aislamiento (**Figura 2-1 E**).

Figura 2-1: Estadios de desarrollo de la inflorescencia femenina. A) preantesis II (estado fenológico 602), B) inflorescencia aislada, C) inflorescencia embolsada, D) antesis (Estado fenológico 607), E) Polinización, F) racimo maduro.



Fuente: (Hormaza et al., 2012)

Los racimos maduros se cosecharon 154 días después de las polinizaciones, cuando se desprendieron naturalmente de uno a cinco frutos por racimo (Figura 2-1 F). El análisis físico de los racimos se hizo con la metodología descrita por (García & Yáñez, 2000; Prada & Romero, 2012), para determinar peso de racimo, peso de FN y FP, Fruit set (ver Ecuación 2-1) y el potencial de aceite/racimo (ver Ecuación 2-2) en una submuestra de 10 g de mesocarpio seco por el método de Soxhlet con hexano como solvente.

$$\text{Fruit set} = \frac{\text{frutos normales} + \text{frutos partenocárpicos} + \text{frutos abortados}}{\text{frutos totales}} \times 100 \quad (2-1)$$

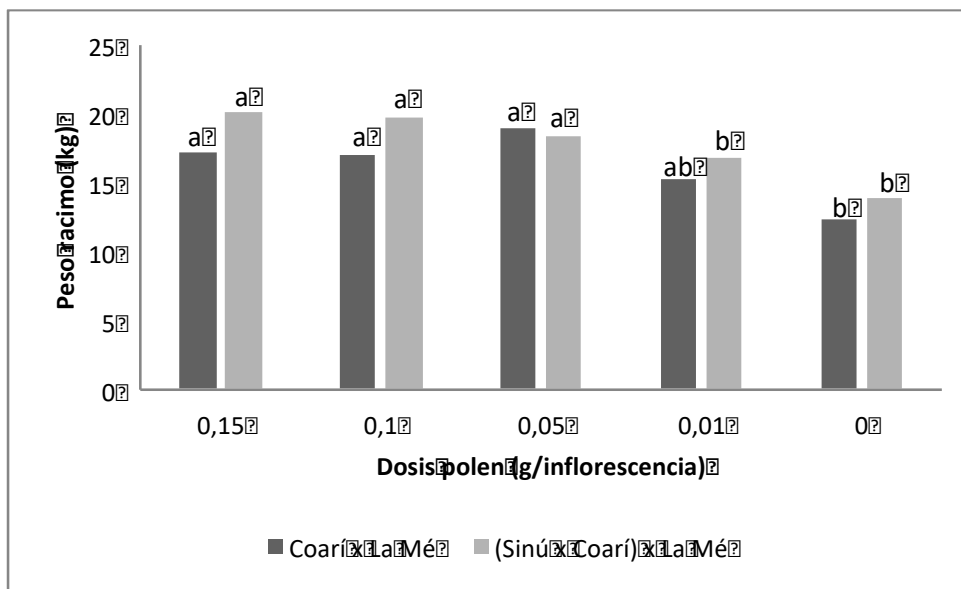
$$\text{Potencial aceite (\%)} = \% \text{ aceite frutos normales} + \% \text{ aceite frutos partenocárpicos} \quad (2-2)$$

2.3. Resultados y discusión

2.3.1. Peso racimo

La **Figura 2-2** muestra que las dosis altas de polen (0,15, 0,1 y 0,05) producen racimos de mayor peso que la dosis menor (0,01) y la polinización natural (0,0). Trabajos similares también reportan un incremento significativo en **PR** con dosis superiores a 0,01 g/inflorescencia (Haniff & Rosland, 2002). Se considera que la polinización natural de los híbridos es escasa debido a la baja emisión de inflorescencias masculinas las cuales producen poca cantidad de polen (5 a 10 g/inflorescencia) de baja viabilidad (2 a 25%) (Hormaza et al., 2012) y que parecen ser poco atractivas para el insecto polinizador *Elaeidobius kamerunicus* (Tan, 1985).

Figura 2-2: Efecto de la dosis de polen sobre el **PR** en dos híbridos *OxG* de palma de aceite. Barras con letras distintas en cada híbrido son estadísticamente diferentes con la prueba de Duncan ($p < 0,05$).



2.3.2. Frutos/racimo, potencial de aceite

La **Tabla 2-1** muestra, en ambos híbridos, porcentajes mayores de formación de **FN** que **FP** con las dosis más altas de polen, como consecuencia lógica de la mayor cantidad de granos de polen que llegaron a la inflorescencia en antesis, lo cual favorece la formación de los **FN** del racimo. Se ha comprobado que la polinización asistida de las inflorescencias en palmas *E. guineensis* e híbridos *OxG* aumenta sustancialmente la proporción de **FN**/racimo (Rosero Estupiñán et al.,

2017; Rosero Estupiñán & Santacruz Arciniegas, 2014; Tam, 1981). No se presentaron diferencias estadísticas significativas en la interacción (Híbridos x Dosis) para los **FN**, **FP** y **FA** del racimo. Según (Corley & Tinker, 2009), la mayor proporción de **FP** en los racimos de híbridos se atribuye a la herencia materna de la palma *E. oleifera*, caracterizada por tener numerosos **FP** que pueden ser hasta el 90% del total del racimo, lo cual ocurre a pesar de tener un porcentaje alto de polen viable (Hardon & Tan, 1969a). Igualmente, (Zambrano R., 2004) menciona una proporción entre 22 y 49% de **FP**/racimo en los híbridos *OxG*, mientras que (Rosero Estupiñán et al., 2017) entre 44 y 56% de **FP**/racimo. El incremento de los **FP** del racimo tiene gran incidencia en el **PA** del racimo, porque su contenido de aceite es similar o incluso mayor que el de los **FN** debido a que el aceite en la pulpa de estos **FP** puede ser hasta del 98% (Bastidas P. et al., 2011).

Tabla 2-1: Efecto de la dosis de polen (g/inflorescencia) sobre los frutos normales (FN), partenocárpicos (FP) y potencial de aceite del racimo (PA) en dos híbridos *OxG* de palma de aceite.

Híbrido	Dosis	Frutos (%)			PA (%)
		FN	FP	FA	
Coarí x La Mé	0,15	44 a	30 b	10	23,0 ab
	0,10	43 a	35 a	9	25,7 a
	0,05	46 a	29 b	9	27,0 a
	0,01	31 b	22 b	11	19,3 b
	Polinización natural	22 c	23 b	8	22,4 ab
(Sinú x Coarí) x La Mé	0,15	49 a	28 a	6	23,4 a
	0,10	45 a	21 b	5	22,1 ab
	0,05	44 a	24 b	9	20,4 b
	0,01	32 b	21 b	10	21,1 b
	Polinización natural	33 b	16 c	10	18,8 c
CV (%)		30,0	26,5	60,6	24,0
F (Dosis)		8,1 **	4,2 **	0,28 ns	2,2 *
F (Híbridos)		1,3 ns	6,1 *	0,42 ns	2,64 ns
F (Híbridos x Dosis)		0,3 ns	0,37 ns	0,95 ns	0,89 ns

** Prueba F significativa (P<0,01)

* Prueba F significativa (P<0,05)

ns Prueba F no significativa (P<0,05)

El porcentaje bajo de **FA** en todas las dosis de polen indica, probablemente, que la presencia de estos frutos malogrados no tuvo relación directa con la mayor o menor cantidad de polen que llegó a las inflorescencias en antesis, sino con factores adversos durante el desarrollo inicial de los frutos del racimo. Aunque el aborto de inflorescencias y frutos suele ocurrir como consecuencia de polinizaciones incorrectas, factores extremos de estrés hídrico, actividad de fructificación, podas o sombreado también lo pueden incrementar (Corley & Breure, 1994). Otros cultivos también

sufren abortos de flores y frutos bajo condiciones de sequía y temperatura alta, no obstante haber sido polinizados artificialmente (Quan Yu, 1999). Además del aborto de inflorescencias antes de la anthesis, algunos racimos también pueden malograrse antes de la cosecha, de tal manera que las tasas de abortos de frutos y racimos se consideran componentes importantes del rendimiento (Corley & Breure, 1994).

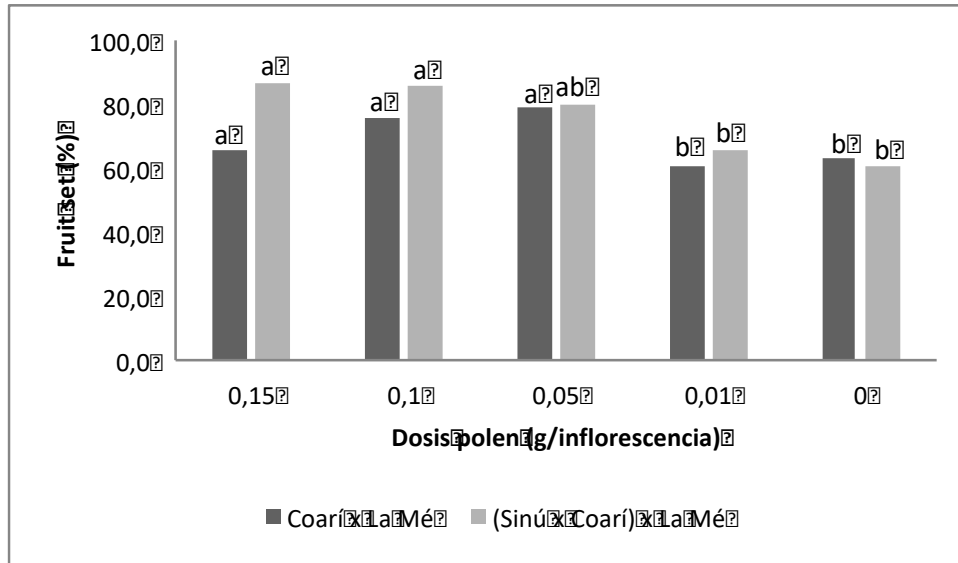
El **PA** fue mayor en las dosis altas de polen (0,15 y 0,10), en comparación con las dosis bajas (0,05 y 0,01) y la polinización natural, lo cual se relaciona directamente con los **FN**/racimo que también fueron mayores en las dosis altas. (Corley & Tinker, 2009) sostienen que la variación existente en el **PA** depende de la proporción de **FN** y **FP** del racimo -que son los que contienen aceite- ya que el **PA** indica la cantidad de aceite posible de extraer por RFF (Moreno Corredor et al., 2018). El hecho de haberse obtenido valores relativamente altos de **PA** en el tratamiento de polinización natural (testigo sin polinización asistida) de ambos híbridos, puede explicarse porque el lote experimental estaba ubicado entre parcelas de *E. guineensis*, que, probablemente, sirvieron de fuente de polen para los dos híbridos. En este sentido, trabajos realizados por (Hardon & Turner, 1967) sobre polinización natural en plantaciones de palma *E. guineensis*, demostraron que la mayoría del polen permanece dentro del dosel después de su emisión por las inflorescencias masculinas, factor que puede favorecer su transporte a las palmas vecinas.

La reducción del **PA** de los híbridos, en condiciones de polinización natural, pueden resultar por la acción conjunta de la escasez de polen de *E. guineensis* en el ambiente, la viabilidad baja del polen híbrido disponible (Alvarado et al., 2000), el impedimento de las espatas que cubren las inflorescencias femeninas y algunas condiciones climáticas adversas de la zona de producción (Labarca et al., 2009; Meléndez M. & Ponce, 2016).

2.3.3. Fruit set

En los dos híbridos, los mayores **Fruit set** se obtuvieron con las dosis altas de polen (**Figura 2-3**). Resultado lógico, porque el **Fruit set** depende de la proporción de **FN** y **FP** del racimo y está directamente relacionado con el **PR**, como efectivamente se comprobó con los **PR** mayores obtenidos en las dosis altas (**Figura 2-2**). Estos resultados coinciden con los de (Haniff & Rosland, 2002), quienes encontraron aumentos significativos del **PR** y **Fruit set** al incrementar la dosis de polen de 0,0001 a 0,01 g en la polinización asistida de palmas *E. Guineensis*.

Figura 2-3: Efecto de la dosis de polen sobre el **Fruit set** en dos híbridos *OxG* de palma de aceite. Barras con letras distintas en cada híbrido son estadísticamente diferentes con la prueba de Duncan ($p < 0,05$).



La viabilidad del polen influye en la producción y en la calidad de frutos de las especies cultivadas (Araméndiz-Tatis et al., 2013), principalmente en los cultivos que requieren de polinización asistida para complementar la acción de agentes polinizadores (Bettiol Neto et al., 2009). Teniendo en cuenta que la germinación del grano de polen se afecta por el tiempo de incubación, la temperatura y el medio de cultivo (Lin et al., 2017), se podría asumir que la temperatura ambiental predominante durante la polinización asistida, afecta el desarrollo de los frutos del racimo y compromete seriamente el rendimiento de los híbridos. Los procesos fisiológicos de las plantas más afectados por el estrés térmico son el crecimiento reproductivo y el desarrollo de los granos de polen al alterar la estabilidad de varias proteínas, membranas y estructuras del citoesqueleto (Bita & Gerats, 2013). La imposibilidad del polen para la emisión y crecimiento del tubo polínico por efecto de temperaturas altas, es el principal factor responsable de la reducción del rendimiento de los cultivos sensibles (Sakata & Higashitani, 2008; Wassmann et al., 2009a). Por estas razones, la utilización de polen de buena calidad con viabilidad y germinación adecuadas- y óptimas condiciones ambientales de la zona de producción, son requisitos fundamentales en la polinización asistida de los híbridos *OxG* para obtener altos rendimientos de aceite en las plantaciones.

Los resultados de este trabajo confirman que la polinización asistida de los híbridos *OxG* es necesaria y que aplicar dosis mayores de 0,01 g de polen/inflorescencia garantiza que las flores

femeninas en antesis reciban la cantidad suficiente de polen para favorecer la formación de racimos con mayores **FN**, **FP**, **Fruit set** y **PA** para incrementar el rendimiento de aceite/ha en las plantaciones.

2.4. Bibliografía

- Acciarri, N., Restaino, F., Vitelli, G., Perrone, D., Zottini, M., Pandolfini, T., Spena, A., & Rotino, G. (2002). Genetically modified parthenocarpic eggplants: Improved fruit productivity under both greenhouse and open field cultivation. *BMC Biotechnology*, 2, 1-7.
<https://bmcbiotechnol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1472-6750-2-4>
- Alvarado, A., Bulgarelli, B., & Moya, B. (2000). Germinación del polen en poblaciones derivadas de un híbrido entre *Elaeis guineensis* Jacq. Y *E. oleifera* HBK Cortés. *ASD Oil Palm Papers*, 20, 35-36.
- 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. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10689>
- American Oil Chemists' Society [AOCS]. (1994). *Official and Recommended Methods of the American Oil Chemists Society*.
- Andersson, S. (2000). *The cost of flowers in Nigella degenii inferred from flower and perianth removal experiments*. 161(6), 903-908. <https://doi.org/10.1086/317558>
- Araméndiz-Tatis, H., Cardona-Ayala, C., & Jarma-Orozco, A. (2013). Eficacia de dos métodos para evaluar la visibilidad del polen de Berenjena (*Solanum melogena* L. cv. Lila Criolla). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2), 351-358.
<https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n2.2013.907>
- Arias, D., Montoya, C., Rey, L., & Romero, H. (2012). Genetic similarity among commercial oil palm materials based on microsatellite markers. *Agromía Colombiana*, 30(2), 188-195.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/29152/38937>

- Arnaud, F. (1980). Fertilité pollinique de l'hybride *Elaeis melanococca* x *E. guineensis* et des especes parentales. *Oléagineux*, 35(3), 121-129.
- Awad, M. A., & Al-Qurashi, A. D. (2012). Gibberellic acid spray and bunch bagging increase bunch weight and improve fruit quality of «Barhee» date palm cultivar under hot arid conditions. *Scientia Horticulturae*, 138, 96-100.
<https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2012.02.015>
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw-Hill.
- Barba, J., & Baquero, Y. (2013). Híbridos OxG obtenidos a partir de oleíferas Taisha Palmar del Río (PDR), Ecuador. Variedad -PDR (Taisha x Avros). *Revista Palmas*, 34, 315-325.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10690>
- Basiron, Y. (2007). Palm oil production through sustainable plantations. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109(4), 289-295. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200600223>
- Basri Wahid, M., Akmar A., S. N., & Henson, I. E. (2005). Oil Palm—Achievements and Potential. *Plant Production Science*, 8(3), 288-297. <https://doi.org/10.1626/pps.8.288>
- Bastidas P., S., Betancourth, C., Preciado, C. A., Peña, E., & Reyes, R. (2011). Predicción y control de la cosecha en el híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* en la zona palmera occidental de Colombia. II. Determinación del ciclo de cosecha para obtener racimos con alto contenido de aceite. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 12(1), 13-20.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:211
- 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*. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 8(1), 5-11.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol8_num1_art:77

- Ben-Cheikh, W., Perez-Botella, J., Tadeo, F. R., & Primo-Millo, E. (1997). Pollination Increases Gibberellin Levels in Developing Ovaries of Seeded Varieties of Citrus. *Plant Physiology*, *14*(2), 557-564. <https://doi.org/10.1104/pp.114.2.557>
- Bennett, T., & Leyser, O. (2014). The auxin question: A philosophical overview. En *Auxin and its Role in Plant Development* (pp. 3-19). https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1526-8_1
- Bernal Niño, F. (2005). *El cultivo de la palma de aceite y su beneficio*. Fedepalma., Fedepalma.
- Bettiol Neto, J. E., Del Nero, M., Kavati, R., & Pinto-Maglio, C. A. F. (2009). Viabilidade e conservação de pólen de três anonas comerciais. *Bragantia*, *68*(4), 825-837. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000400002>
- Binder, B. M., & Patterson, S. E. (2009). Ethylene-dependent and -independent regulation of abscission. *Stewart Postharvest Review*, *5*(1), 1-10. <https://doi.org/10.2212/spr.2009.1.1>
- Bishop, G., Sakakibara, H., Seo, M., & Yamaguchi, S. (2015). Biosynthesis of hormones. En *Biochemistry and Molecular Biology of Plants* (2.^a ed., pp. 769-833). American Society of Plant Physiologists.
- Bitá, C. E., & Gerats, T. (2013). Plant tolerance to high temperature in a changing environment: Scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Frontiers in Plant Science*, *4*(273), 1-18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00273>
- Breure, C. J., & Menendez, T. (1990). The Determination of bunch yield components in the development of inflorescences in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Experimental Agriculture*, *26*(1), 99-115. <https://doi.org/10.1017/S0014479700015441>
- Carter, C., Finley, W., Fry, J., Jackson, D., & Willis, L. (2007). Palm oil markets and future supply. *European Journal of Lipid Science and Technology*, *109*(4), 307-314. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200600256>

Cassiday, L. (2016). Una controversia de peso: Cambiando paradigmas sobre las grasas saturadas.

Revista Palmas, 37(4), 41-53.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11962>

Castiblanco, S., Fontanilla, C., Santacruz, L., Rosero, G., & Mosquera, M. (2013).

Comportamiento de los costos y beneficios de los materiales Coari x La Mé e IRHO 1001 en condiciones de Guaicaramo S.A. *Revista Palmas*, 34(4), 33-45.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10934>

Cayón, G. (1998). *Aspectos fisiológicos y bioquímicos de la maduración de los frutos de la palma de aceite (Elaeis guineensis Jacq.)*. 294-306.

Chaves, G., Ligarreto-Moreno, G. A., & Cayon-Salinas, 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 Agronomica*, 67(1), 168-176. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n1.62028>

Choo, Y., & Nesaretnam, K. (2014). Research advancements in palm oil nutrition. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(10), 1301-1315.

<https://doi.org/10.1002/ejlt.201400076>

Combres, J. C., Pallas, B., Rouan, L., Mialet-Serra, I., Caliman, J. P., Braconnier, S., Soulié, J. Ch., & Dingkuhn, M. (2013). Simulation of inflorescence dynamics in oil palm and estimation of environment-sensitive phenological phases: A model based analysis. *Functional Plant Biology*, 40(3), 263-279. <https://doi.org/10.1071/FP12133>

Corley, R. H. V. (1973). Oil palm physiology: A review. En *Adv. Oil Palm Cultivation* (pp. 37-51).

Corley, R. H. V. (1976). *Inflorescence abortion and sex differentiation*. 1, 37-54.

Corley, R. H. V., & Breure, C. J. (1992). Fruiting Activity, Growth and Yield of Oil Palm. I. Effects of Fruit Removal. *Experimental Agriculture*, 28(1), 99-109.

<https://doi.org/10.1017/S0014479700023048>

- Corley, R. H. V., & Breure, C. J. (1994). Actividad de fructificación, crecimiento y rendimiento de la palma de aceite: I. Efectos de la remoción de frutos. *Revista Palmas*, 15(3), 41-49.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/444>
- Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2009). *La palma de aceite*. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite. [Fedepalma].
- Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2016). *The oil palm* (5.^a ed.). John Wiley & Sons.
- Crane, J. C. (1964). Growth substances in fruit setting and development. *Annual Review of Plant Physiology*, 15, 303-326. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.15.060164.001511>
- Crozier, A., Kamiya, Y., Bishop, G., & Yokota, T. (2000). Biosynthesis of hormones and elicitor molecules. En *Biochemistry and Molecular Biology of Plants* (pp. 850-929). American Society of Plant Physiologists.
- Dafni, A., & Firmage, D. (2000). *Pollen viability and longevity: Practical, ecological and evolutionary implications*. 222, 113-132. <https://doi.org/10.1007/bf00984098>
- Dempsey, W. H. (1962). *Pollen Tube Growth in vivo as a Measure of Pollen Viability*. 138(3538), 436-437. <https://doi.org/10.1126/science.138.3538.436>
- Doaigey, A. R., Al-Whaibi, M. H., Siddiqui, M. H., Al Sahli, A. A., & El-Zaidy, M. E. (2013). Effect of GA₃ and 2,4-D foliar application on the anatomy of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seedling leaf. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20(2), 141-147.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.12.001>
- Dorcey, E., Urbez, C., Blázquez, M. A., Carbonell, J., & Perez-Amador, M. A. (2009). *Fertilization-dependent auxin response in ovules triggers fruit development through the modulation of gibberellin metabolism in Arabidopsis*. 58, 318-332.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03781.x>

El-Kosary, S. (2009). Effect of NAA, GA3 and cytophex spraying on Samany and Zaghoul date palm yield, fruit retained and characteristics. *Journal of plant production*, 34(4), 3453-3468. <https://doi.org/10.21608/JPP.2009.117168>

Engels, C., Kirkby, E., & White, P. (2012). Mineral Nutrition, Yield and Source-Sink Relationships. En *Mineral Nutrition of Higher Plants* (pp. 85-131). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00005-4>

Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite. [Fedepalma]. (2015). *La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo* (Anuario Estadístico, p. 173). <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

Fernández-Escobar, R., Gómez-Valledor, G., & Rallo, L. (1981). In vitro pollen germination in olive cultivars. *Anales de la Estación Experimental de Aula Dei*, 15, 261-272.

Fishel, F. M. (2006). *Plant Growth Regulators. Document PI-139, Pesticide Information Office, Florida Cooperative Extension Service*. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida.

Fos, M., Nuez, F., & Garcia-Martinez, J. L. (2000). The gene pat-2, which induces natural parthenocarpy, alters the gibberellin content in unpollinated tomato ovaries. *Plant Physiology*, 122(2), 471-480. <https://doi.org/10.1104/pp.122.2.471>

Fos, M., Proaño, K., Nuez, F., & García-Martínez, J. L. (2001). Role of gibberellins in parthenocarpic fruit development induced by the genetic system pat-3/pat-4 in tomato. *Physiologia Plantarum*, 111(4), 545-550. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1110416.x>

Gaaliche, B., Majdoub, A., Trad, M., & Mars, M. (2013). Assessment of pollen viability, germination, and tube growth in eight Tunisian caprifig (*Ficus carica* L.) cultivars. *ISRN Agronomy*, 2013, 1-4. <https://doi.org/10.1155/2013/207434>

García, J. A., & Yáñez, E. (2000). Aplicación de la metodología alterna para análisis de racimos y muestreo de racimos en tolva. *Revista Palmas*, 21, 303-311.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/799>

Genty, P., & Ujueta, M. (2013). *Relatos sobre el híbrido interespecífico de palma de aceite OxG - Coarí x La Mé: Esperanza para el trópico*. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite [Fedepalma].

Girón, E., & Mahecha, X. (2015). Análisis descriptivo de la evolución de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia a partir de los censos palmeros de 1997 y 2011. *Revista Palmas*, 36(2), 13-25.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11074>

Godefroid, S., Van de Vyver, A., & Vanderborcht, T. (2010). Germination capacity and viability of threatened species collections in seed banks. *Biodiversity and Conservation*, 19(5),

1.365-1.383. <https://doi.org/10.1007/s10531-009-9767-3>

González, D. A., Cayón, G., López, J. E., & Alarcón, W. H. (2013). Development and maturation of fruits of two Indupalma OxG hybrids (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*). *Agronomía Colombiana*, 31(3), 343-351.

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/38213/43576>

Goodwin, P. B. (1978). Phytohormones and fruit growth. En *Phytohormones and Related Compounds: A Comprehensive Treatise* (pp. 175-216). Elsevier.

Gorguet, B., van Heusden, A. W., & Lindhout, P. (2005). Parthenocarpic fruit development in tomato. *Plant Biology*, 7(2), 131-139. <https://doi.org/10.1055/s-2005-837494>

Grossmann, K. (1990). Plant growth retardants as tools in physiological research. *Physiologia Plantarum*, 78(4), 640-648. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1990.tb05254.x>

Gustafson, F. G. (1960). Influence of gibberellic acid on setting and development of fruits in tomato. *Plant Physiol*, 35(4), 521-523. <https://doi.org/10.1104/pp.35.4.521>

- Haniff, H., & Rosland, M. D. (2002). Fruit set and oil palm bunch components. *Journal of Oil Palm Research*, 14(2), 24-33. <http://jopr.mpob.gov.my/wp-content/uploads/2013/09/jopr14dec2002-haniff1.pdf>
- Hardon, J. J., & Tan, G. Y. (1969a). Interspecific hybrids in the genus *Elaeis* I. crossability, cytogenetics and fertility of F1 hybrids of *E. guineensis* x *E. oleifera*. 18, 372-379. <https://doi.org/10.1007/BF00397784>
- Hardon, J. J., & Tan, G. Y. (1969b). Interspecific hybrids in the genus *Elaeis* I. crossability, cytogenetics and fertility of F1 hybrids of *E. guineensis* x *E. oleifera*. *Euphytic*, 18, 372-379. <https://doi.org/10.1007/BF00397784>
- Hardon, J. J., & Turner, P. D. (1967). Observations on natural pollination in commercial plantings of oil palm (*Elaeis guineensis*) in Malaysia. *Experimental Agriculture*, 3(2), 105-116. <https://doi.org/10.1017/S0014479700021864>
- Hartley, C. W. S. (1988). *The oil palm*. Longmans Green.
- Hedden, P., & Hoad, G. V. (1985). Hormonal regulation of fruit growth and development. *Brit. Plant Growth Regulator Group Monogr*, 12, 211-225.
- Hedhly, A. (2011). Sensitivity of flowering plant gametophytes to temperature fluctuations. *Expert Opinion on Biological Therapy*, 74, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.03.016>
- Henson, I. E. (1990). Retardation of inflorescence growth in oil palm. *Transactions of the Malaysian Society of Plant Physiology*, 1, 207-214.
- Henson, I. E., Ruiz, R., & Romero, H. M. (2011). The growth of the oil palm industry in Colombia. *Journal of Oil Palm Research*, 23(3), 1.121-1.128. <http://jopr.mpob.gov.my/the-growth-of-the-oil-palm-industry-in-colombia/>
- Hormaza Martínez, P. A., Forero Hernández, D. C., Ruiz Romero, R., & Romero Angulo, H. M. (2010). Fenología de la palma de aceite africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) y del híbrido interespecífico (*Elaeis oleifera* [Kunt] Cortes x *Elaeis guineensis* Jacq.). Cenipalma.

<https://repositorio.fedepalma.org/bitstream/handle/123456789/80999/Fenologia%20de%20la%20palma%20de%20aceite%20africana%20y%20del%20h%C3%ADbrido.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hormaza, P., Forero, D., Ruiz, R., & Romero, E. (2011). *Fenología de la palma de aceite africana (Elaeis guineensis Jacq.) y del híbrido interespecífico (Elaeis oleifera x Elaeis guineensis Jacq.)*. Cenipalma.

Hormaza, P., Mesa Fuquen, E., & Romero, H. M. (2012). Phenology of the oil palm interespecific hybrid *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*. *Scientia Agricola*, 69(4), 275-280.

<https://doi.org/10.1590/S0103-90162012000400007>

Icontec. (2009). *Norma técnica colombiana 5713: Aceite de palma alto oleico OxG (Elaeis oleifera x Elaeis guineensis)*. Icontec.

Ingrasso, I., Bonsegna, S., Domenico, S., Laddomada, B., Blando, F., Santino, A., & Giovinazzo, G. (2011). Over-expression of a grape stilbene synthase gene in tomato induces parthenocarpy and causes abnormal pollen development. *Plant Physiology and Biochemistry*, 49(10), 1.092-1.099. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2011.07.012>

Khairudin, H., & Teoh, C. H. (1988). *Herbicide induced parthenocarpy in oil palm—Preliminary screening of herbicides*. 210-214. <http://agris.upm.edu.my:8080/dspace/handle/0/3430>

Khosla, P. (2014). Efectos del aceite de palma en la salud humana. Más allá del perfil de ácidos grasos. *Revista Palmas*, 35(2), 59-72.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10980>

Kokubun, M., Shimada, S., & Takahashi, M. (2001). Flower abortion caused by preanthesis water deficit is not attributed to impairment of pollen in soybean. *Crop Science*, 41, 1.517-1.521.

<https://doi.org/10.2135/cropsci2001.4151517x>

La Cabaña S.A. (2009). *Multimedia interactivo: Palma de aceite alto oleico (híbrido OxG)*.

- Labarca, M., Portillo, E., Portillo, A., & Morales, E. (2009). Estructuras reproductivas y polinización entomófila en tres lotes comerciales de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el estado Zulia, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad Del Zulia*, 26(1), 1-22.
<https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/26795>
- Lagos B., T. C., Bacca, T., Herrera P., D. M., & Delgado T., J. L. (2015). Biología reproductiva y polinización artificial del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* (cav.) sendt). *Boletín Científico Del Centro de Museos*, 19(2), 60-73. <https://doi.org/10.17151/bccm.2015.19.2.3>
- Lagos, T. C., Caetano, C. M., Vallejo, F. A., Muñoz, J. E., Criollo, H., & Olaya, C. (2005). Caracterización palinológica y viabilidad polínica de *Physalis peruviana* L. y *Physalis philadelphica* Lam. *Agronomía Colombiana*, 23(1), 55-61.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/19906>
- Larkindale, J., Hall, J. D., Knight, M. R., & Vierling, E. (2005). Heat stress phenotypes of *Arabidopsis* mutants implicate multiple signaling pathways in the acquisition of thermotolerance. *Plant Physiology*, 138, 882-897. <https://doi.org/10.1104/pp.105.062257>
- Larkindale, J., & Huang, B. (2004). Thermo tolerance and antioxidant systems in *Agrostis stolonifera*: Involvement of salicylic acid, abscisic acid, calcium, hydrogen peroxide, and ethylene. *Journal of Plant Physiology*, 161(4), 405-413. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-01239>
- Lewis, D. H., Burge, G. K., Schmierer, D. M., & Jameson, P. E. (1996). Cytokinins and fruit development in the kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). I. Changes during fruit development. *Physiologia Plantarum*, 98, 179-186. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1996.980122.x>
- Leyser, O., & Day, S. (2015). Signal Transduction. En *Biochemistry and Molecular Biology of Plants* (2.^a ed., pp. 834-871). John Wiley & Sons.

- Lin, Y., Wang, Y., Iqbal, A., Shi, P., Li, J., Yang, Y., & Lei, X. (2017). Optimization of culture medium and temperature for the in vitro germination of oil palm pollen. *Scientia Horticulturae*, 220, 134-138. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.040>
- Luckwill, L. C. (1970). *The control of growth and fruitfulness of apple trees* (pp. 237-253). Academia Press.
- Macfarlane, N., Swetman, T., & Cornelius, J. A. (1975). Analysis of mesocarp and kernel oils from the american oil palm and F1 hybrids with the west african oil palm. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 26, 1.293-1.298.
- Márquez Guzmán, J. (2013). *Biología de angiospermas*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. (3.^a ed.). Elsevier.
- Marutani, M., Sheffer, R. D., & Kamemoto, H. (1993). Cytological Analysis of Anthurium andraeanum (Araceae), Its Related Taxa and Their Hybrids. *American Journal of Botany*, 80(1), 93-103. <http://www.jstor.org/stable/2445125>
- Mascarenhas, J. P. (1975). The Biochemistry of Angiosperm Pollen Development. *Botanical Review*, 41(3), 259-314. <https://www.jstor.org/stable/4353883>
- McKellar, M., & Quesenberry, K. (1992). Chromosome pairing and pollen viability in *Desmodium ovalifolium* Wall x *Desmodium heterocarpon* (L.) DC hybrids. *Australian Journal of Botany*, 40(2), 243-247. <https://doi.org/10.1071/BT9920243>
- Meléndez M., & Ponce, W. (2016). Pollination in the oil palms *Elaeis guineensis*, *E. oleifera* and their hybrids OxG. in tropical America. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 46(1), 102-110. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v46i38196>
- Menéndez, T. M., & Black, G. (1963). *11th Ann. Report. W. Afr.* West African Institute for Oil Palm Research.

- Mesejo, C., Martínez-Fuentes, A., Reig, C., & Agustí, M. (2008). Gibberellic acid impairs fertilization in Clementine mandarin under cross-pollination conditions. *Plant Science*, 175(3), 267-271. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2008.04.008>
- Mesejo Conejos, C. (2012). *Citricultura. El cuajado del fruto. Polinización y partenocarpia. Las giberelinas*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/16898>
- Meunier, J. (1975). Le palmier à huile américain *Elaeis melanococca*. *Oléagineux*, 30(2), 51-61. <https://agritrop.cirad.fr/439820/1/ID439820.pdf>
- Meunier, J. (1991). Una posible solución genética para el control de la Pudrición del cogollo en la palma aceitera: Híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*. *Revista Palmas*, 12(2), 39-44.
- Mignolli, F., Mariotti, L., Lombardi, L., Vidoz, M. L., Ceccarelli, N., & Picciarelli, P. (2012). *Tomato fruit development in the auxin-resistant dgt mutant is induced by pollination but not by auxin treatment*. 169, 1.165-1.172. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.04.005>
- Mohd, H. H. (2000). Yield and yield components and their physiology. En *Advances in oil palm research* (Vol. 1-I, pp. 146-170). Malaysian Palm Oil Board.
- Montalt Resurrección, R. (2009). *Partenocarpia en cítricos. Estudio preliminar para la caracterización del banco de germoplasma de cítricos del IVIA* [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/14534/partenocarpia%20en%20citricos.pdf?sequence=1>
- Montoya, C., Lopes, R., Flori, A., Cros, D., Cuéllar, T., Summo, M., Speout, S., Rivallan, R., Risterucci, A. M., Bittencourt, D., Zambrano, J. R., Alarcón, W. H., Villeneuve, P., Pina, M., Nouy, B., Amblard, P., Ritter, E., Leroy, T., & Billotte, N. (2013). Quantitative trait loci (QTLs) analysis of palm oil fatty acid composition in an interspecific pseudo-

- backcross from *Elaeis oleifera* (H.B.K.) Cortés and oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Tree Genetics & Genomes*, 9, 1207-1225. <https://doi.org/10.1007/s11295-013-0629-5>
- Moreno Corredor, E., García, J. M., Díaz Rangel, C. A., Meneses, H. M., Ramírez Contreras, N. E., & García Nuñez, J. A. (2018). Optimización de la medición del potencial industrial de aceite. *Revista Palmas*, 38(4), 98-107.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12359>
- Mosquera, M., Valderrama, M., Fontanilla, C., Ruiz, C., Uñate, M., Rincón, F., & Arias, N. (2016). Costos de producción de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia en 2014. *Revista Palmas*, 37(2), 37-53.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11737>
- Mozzon, M., Pacetti, D., Lucci, P., Balzano, M., & Frega, N. G. (2013). Crude palm oil from interspecific hybrid *Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*: Fatty acid regiodistribution and molecular species of glycerides. *Food Chemistry*, 141(1), 245-252.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.016>
- Murphy, D. J. (2014). The future of oil palm as a major global crop: Opportunities and challenges. *Journal of Oil Palm Research*, 26(1), 1-24. <http://jopr.mpob.gov.my/the-future-of-oil-palm-as-a-major-global-crop-opportunities-and-challenges/>
- Nitsch, J. P. (1950). Growth and morphogenesis of strawberry as related to auxin. *American Journal of Botany*, 37(3), 211-215. <https://doi.org/10.2307/2437903>
- Nitsch, J. P. (1971). Perennation through seeds and other structure fruit development. En *Plant Physiology* (pp. 413-501). Academic Press.
- Nitsche, K., Grossmann, K., Sauerbrey, E., & Jung, J. (1985). Influence of the growth retardant tetcyclacis on cell division and cell elongation in plants and cell cultures of sunflower, soybean, and maize. *Journal of Plant Physiology*, 118(3), 209-218.
[https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(85\)80222-4](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(85)80222-4)

Ohara, H., Izawa, J., Kimura, S., Hiroi, N., Matsui, H., Hirata, N., & Takahashi, E. (1997).

Induction of fruit set and growth of parthenocarpic «Hayward» kiwifruit with plant growth regulators. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 66, 467-473.

<https://doi.org/10.2503/jjshs.66.467>

Opute, F. I., & Obasola, C. O. (1979). Breeding for Short-stemmed Oil Palm in Nigeria: Fatty

Acids, their Significance and Characteristics. *Annals of Botany*, 43(6), 677-681.

<https://doi.org/10.2307/42761842>

Orillo, M., & Bonierbale, M. (2009). *Biología reproductiva y citogenética de la papa*. Centro

Internacional de la Papa. CIP.

https://www.academia.edu/36873312/Biolog%C3%ADa_reproductiva_y_citogen%C3%A9tica_de_la_papa_Red_LatinPapa_Centro_Internacional_de_la_Papa_CIP

Ospina M., M. C., & Ligarreto M., G. A. (2000). Análisis de la calidad del polen en genotipos de papa *Solanum tuberosum* ssp. Andígena y reacción a *Phytophthora infestans* en progenies.

Agronomía Colombiana, 17, 69-72. [http://www.bdigital.unal.edu.co/24427/1/21588-](http://www.bdigital.unal.edu.co/24427/1/21588-73851-1-PB.pdf)

[73851-1-PB.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/24427/1/21588-73851-1-PB.pdf)

Pallardy, S. G. (2008). *Physiology of woody plants* (3.^a ed.). [https://doi.org/10.1016/B978-](https://doi.org/10.1016/B978-012088765-1.50001-4)

[012088765-1.50001-4](https://doi.org/10.1016/B978-012088765-1.50001-4)

Patterson, K. J., Mason, K. A., & Gould, K. S. (1993). Effects of CPPU (N-(2-chloro-4-pyridyl)-N-

phenylurea) on fruit growth, maturity and storage quality of kiwifruit, New Zealand.

Journal of Crop and Horticultural Science, 21, 253-261.

<https://doi.org/10.1080/01140671.1993.9513777>

Pelaez R., E. E., Ramirez M., D. P., & Cayón S., G. (2010). Fisiología comparada de palmas

africana (*Elaeis guineensis* Jacq.), americana (*Elaeis oleifera* hbk Cortes) e híbridos (E.

oleifera x *E. guineensis*) en Hacienda La Cabaña. *Revista Palmas*, 31(2), 29-38.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1476/1476>

- Pharis, R. P., & King, R. W. (1985). Gibberellins and reproductive development in seed plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 36, 517-568.
<https://doi.org/10.1146/annurev.pp.36.060185.002505>
- Pio, L. A. S., Ramos, J. D., Pasqual, M., Junqueira, K. P., Santos, F. C., & Rufini, J. C. M. (2007). Viabilidade do pólen de laranjas doces em diferentes condições de armazenamento. *Ciência e Agrotecnologia*, 31(1), 147-153. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000100022>
- Prada, F., & Romero, A. (2012). *Muestreo y análisis de racimos en el cultivo de la palma de aceite*. Centro Nacional de Investigación en palma de aceite [Cenipalma].
- Preciado Q., C. A., Bastidas, P. S., Betancourth, G. C., Peña R., E., & Reyes, C. R. (2011a). Predicción y control de la cosecha en el híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* en la zona palmera occidental de Colombia I. Determinación del período de madurez para obtener racimos de alto contenido de aceite. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(1), 5-12. https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:210
- Preciado Q., C. A., Bastidas, P. S., Betancourth, G. C., Peña R., E., & Reyes, C. R. (2011b). Predicción y control de la cosecha en el híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* en la zona palmera occidental de Colombia. II. Determinación del ciclo de cosecha para obtener racimos de alto contenido de aceite. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(1), 13-19. https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:210
- Prieto, A., Ochoa, I., & Cayón, D. G. (2015). *Efecto de la aplicación de auxinas y giberelinas en la formación de frutos partenocárpicos en los híbridos *Elaeis oleifera* H.B.K. Cortés x *Elaeis guineensis* Jacq.* XVIII Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite, Cartagena, Colombia.
- Quan Yu, J. (1999). Parthenocarpy induced by N-(2-chloro-4-pyridyl)-N'-phenylurea (CPPU) prevents flower abortion in Chinese white-flowered gourd (*Lagenaria leucantha*).

Environmental and Experimental Botany, 42(2), 121-128. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(99\)00025-8](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(99)00025-8)

Quijada, O., Camacho, R., Rivas, J., & Fonseca, Y. (1999). *Partenocarpia del mango «Haden» en la planicie de Maracaibo*. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Zulia. http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd64/texto/mango.htm

Rao, S. S. R., Vardhini, B. V., Sujatha, E., & Anuradha, S. (2002). Brassinosteroids—A new class of phytohormones. *Current Science*, 82(10), 1.239-1.245. <https://www.jstor.org/stable/24107046>

Rebers, M., Kaneta, T., Kawaide, H., Yamaguchi, S., Yang, Y., Imai, R., Sekimoto, H., & Kamiya, Y. (1999). Regulation of gibberellin biosynthesis genes during flower and early fruit development of tomato. *Plant Journal*, 17, 241-250. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.1999.00366.x>

Redshaw, M. (2012). *Utilización de los Residuos del Campo y de los Subproductos de la Planta Extractora* (Palma de aceite: manejo para rendimientos altos y sostenibles). 337-350

Rejón, J. D., Suárez, C. G., Alché, J. D., Castro, A. J., & Rodríguez-García, M. I. (2010). Evaluación de diferentes métodos para estimar la calidad del polen en distintos cultivares de olivo (*Olea europaea* L.). *Polen*, 20, 61-72. <https://doi.org/10.14201/pol.v20i0.8921>

Rey Bolivar, L., Ayala, I., Delgado Ayala, W., & Rocha Salavarieta, P. J. (2003). *Colecta de material genético de la palma amaricana noli elaeis oleifera (H.B.K.) cortez en el trapecio amazónico* (N.º 101; Ceniavances, pp. 1-4). Cenipalma. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/ceniavances/article/view/10364/10354>

Rey Bolivar, L., Gómez C., P. L., Ayala D., I., Delgado A., W., & Rocha S., P. (2004). Colecciones genéticas de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) y (*Elaeis oleífera* H.B.K.) de Cenipalma: Características de importancia en el sector palmicultor. *Revista*

Palmas, 25, 39-48.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1065>

- Rincón, S. M., Hormaza, P. A., Moreno, L. P., Prada, F., Portillo, D. J., García, J. A., & Romero, H. M. (2013). Use of phenological stages of the fruits and physicochemical characteristics of the oil to determine the optimal harvest time of oil palm interspecific O_xG hybrid fruits. *Industrial Crops and Products*, 49, 204-210. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.035>
- Rivera, Y. D., Cayón, D. G., & López, J. E. (2013). Physiological and morphological characterization of american oil palms (*Elaeis oleifera* HBK Cortes) and their hybrids (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) on the Indupalma plantation. *Agronomía Colombiana*, 31(3), 314-323. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/39631>
- Robinson, R., Cantliffe, D., & Shannon, S. (1971). Morphactin-induced parthenocarpy in Cucumber. *Science*, 171, 1.251-1.252. <https://doi.org/10.1126/science.171.3977.1251>
- Rocha S., P. J., Prada C., F., Rey B., L., & Ayala D., I. M. (2006). Caracterización bioquímica parcial de la colección de *Elaeis oleifera* de Cenipalma proveniente de la Amazonia colombiana. *Revista Palmas*, 27(3), 35-44. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1187>
- Rodríguez, A., Daza, E., Romero, R., & Romero, H. (2011). *Polinización asistida en palma de aceite. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: Guía para facilitadores*.
- Rodríguez Rojas, T. J., Andrade Rodríguez, M., Canul Ku, J., Castillo Gutiérrez, A., Martínez Fernández, E., & Guillén Sánchez, D. (2015). Viabilidad de polen, receptividad del estigma y tipo de polinización en cinco especies Echeveria en condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(1), 111-123. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i1.743>

- Rodriguez-Nieto, J. A., & Mollick, A. V. (2021). The US financial crisis, market volatility, credit risk and stock returns in the Americas. *Financial Markets and Portfolio Management*, 35(2), 225-254. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s11408-020-00369-x>
- Rosero Estupiñán, G., & Santacruz Arciniegas, L. (2014). Efecto de la polinización asistida en la conformación del racimo en material híbrido OxG en la plantación Guaicaramo S.A. *Revista Palmas*, 35(4), 11-19. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11028>
- Rosero Estupiñán, G., Santacruz Arciniegas, L., & Carvajal, S. (2017). Influencia del destape de la inflorescencia en la polinización asistida del híbrido OxG. *Revista Palmas*, 38(1), 49-62. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12044>
- Ruíz, E., Fontanilla, C., Mesa, E., Mosquera, M., Molina, D., & Rincón, A. (2015). Prácticas de manejo y costos de producción de la palma de aceite híbrido OxG en plantaciones de la Zona Oriental y Suroccidental de Colombia. *Revista Palmas*, 36(4), 11-29. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11642>
- Sakata, T., & Higashitani, A. (2008). Male sterility accompanied with abnormal anther development in plants-genes and environmental stresses with special reference to high temperature injury. *International Journal of Plant Developmental Biology*, 2(1), 42-51. [http://globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/0806/IJPDB_2\(1\)/IJPDB_2\(1\)42-51o.pdf](http://globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/0806/IJPDB_2(1)/IJPDB_2(1)42-51o.pdf)
- Sakata, T., Oshino, T., Miura, S., Tomabechi, M., Tsunaga, Y., Higashitani, N., Miyazawa, Y., Takahashi, H., Watanabe, M., & Higashitani, A. (2010). Auxins reverse plant male sterility caused by high temperatures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(19), 8569-8574. <https://doi.org/10.1073/pnas.1000869107>
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1985). *Plant Physiology* (3.^a ed.). Wadsworth Publishing Co.
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1992). *Plant Physiology* (4.^a ed.). John Wiley & Sons.

Salles, L. A., Ramos, J. D., Pasqual, M., Junqueira, K. P., & Silva, A. B. da. (2006). Sacarose e pH na germinação in vitro de grãos de pólen de citros. *Ciência e Agrotecnologia*, 30(1), 170-174. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000100025>

Sánchez Rodríguez, Á., Daza, E. S., Ruiz Romero, R., & Romero Angulo, H. M. (2011). *Polinización asistida en palma de aceite. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: Guía para facilitadores*. Cenipalma. <http://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/107703>

Sánchez Rodríguez, L. Á., & Romero, H. M. (2013). *Viabilidad y morfología del polen de diferentes materiales de palma de aceite* (Ceniavances N.º 171). Cenipalma.

Sedgely, M., & Harbard, J. (1993). *Pollen storage and breeding systems in relation to controlled pollination of four species of Acacia (Leguminosae: Mimosoideae)*. 41, 601-609. <https://doi.org/10.1071/BT9930601>

Seop, K., Hiroshi, O., & Kunimitsu, F. (1992). *Endogenous levels of IAA in relation to parthenocarpy in cucumber (Cucumis sativus L.)*. 52(1-2), 1-8. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(92\)90002-T](https://doi.org/10.1016/0304-4238(92)90002-T)

Serna Mondragón, A., & Pinilla Betancourt, C. (2015). Aceite de palma alto oleico: Propiedades físicoquímicas y beneficios para la salud humana. *Revista Palmas*, 36(4), 57-66. <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11645>

Shivanna, K. R. (2003). *Pollen biology and biotechnology*. Science Publishers.

Shivanna, K. R., & Tandon, R. (2014). *Reproductive ecology of flowering plants: A manual*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2003-9>

Sparnaaij, L. D. (1959). *The analysis of bunch production in the oil palm*. <https://edepot.wur.nl/183270>

Sparnaaij, L. D. (1962). *10th Ann. Report. W. Afr. Inst. Oil Palm Res.*

- Stanley, R. G., & Linskens. (1974). Viability Test. En *Pollen-biology, biochemistry and management* (pp. 67-86). Springer Verlag.
- Sunil Kumar, K., Mathur, R., & SparjanBabu, D. (2011). *Efficacy of Dyes and Media on Pollen Viability and Germinability in Oil Palm (Elaeis guineensis Jacq.)*. 8(1), 9-12.
- Sunil Kumar, K., Mathur, R., SparjanBabu, D., & Reddy, A. (2013). *Pollen viability and vigour in interspecific hybrids (E. guineensis x E.oleifera) of oil palm*. 41(1), 91-94.
<https://updatepublishing.com/journal/index.php/JPC/article/view/5908>
- Syafiq, M., Nur Atiqah, A. R., Ghazali, A., Asmah, S., Yahya, M. S., Aziz, N., Puan, C. L., & Azhar, B. (2016). Responses of tropical fruit bats to monoculture and polyculture farming in oil palm smallholdings. *Acta Oecologica*, 74, 11-18.
<https://doi.org/10.1016/j.actao.2016.06.005>
- Syed, R. A. (1979). Studies on oil palm pollination by insects. *Bulletin of Entomological Research*, 69(2), 213-224. <https://doi.org/10.1017/S0007485300017673>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology* (4.^a ed.). Sinauer Associates.
- Takagi, T., Murai, H., Ueda, R., & Suzuki, T. (1994). *Effect of application of gibberellic acid and N-(2-chloropyridyl)-N'-phenylurea on the enlargement of frost-induced seedless fruit of loquat (Eriobotrya japonica Lindl.)*. 62(4), 733-739.
<https://wenku.baidu.com/view/a43da6573169a4517723a3da.html>
- Talanova, V., Akimova, T., & Titov, A. (2003). Effect of whole plant and local heating on the ABA content in cucumber seedling leaves and roots and on their heat tolerance. *Russian Journal of Plant Physiology*, 50, 90-94. <https://doi.org/10.1023/A:1021996703940>
- Talón, M., Hedden, P., & Primo-Millo, E. (1990). Gibberellins in Citrus sinensis: A comparison between seeded and seedless varieties. *Journal of Plant Growth Regulation*, 9(4), 201-206.
<https://doi.org/10.1007/BF02041963>

- Tam, T. K. (1981). Investigations into fruit-set capacities of the *Elaeis oleifera* under controlled pollination conditions and germination requirements of the *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* (pisifera) hybrid. *The Planter*, 57, 444-451.
- Tan, Y. P. (1985). *Weevil pollination in the Elaeis oleifera x Elaeis guineensis hybrid*. 34-40.
- Tandon, R., Manohara, T., Nijalingappa, B., & Shivanna, K. (2001). Pollination and Pollen-pistil interaction in Oil palm, *Elaeis guineensis*. *Annals of Botany*, 87(6), 831-838.
<https://www.jstor.org/stable/42771002>
- Taylor, L. P., & Hepler, P. K. (1997). *Pollen germination and tube growth*. 48(1), 461-491.
<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.48.1.461>
- Thomas, R. L., Seth, A. K., Chan, K. W., & Ooi, S. C. (1973). Induced Parthenocarpy in the oil palm. *Annals of Botany*, 37(151), 447-452. <https://www.jstor.org/stable/42759421>
- Tiwari, A., Remko, O., & Heuvelink, P. (2012). *Auxin-induced Fruit Set in Capsicum annum L. Requires Downstream Gibberellin Biosynthesis*. 31, 570-578.
<https://doi.org/10.1007/s00344-012-9267-7>
- Torres, G. A., Sarria, G. A., Varon, F., Coffey, M. D., Elliot, M., & Martinez, G. (2010). First report of bud rot caused by *Phytophthora palmivora* on African oil palm in Colombia. *Plant Disease*, 94, 1.163. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-9-1163A>
- Turner, P. D., & Gillbanks, R. A. (1974). Oil palm cultivation and management. En *The Incorporated Society of Planters*. Kuala Lumpur.
- Uhl, C. H. (1982). The problem of ploidy in echeveria (Crassulaceae). II. tetraploidy. *American Journal of Botany*, 69(9), 1497-1511. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1982.tb13399.x>
- Vardi, A., Levin, I., & Carmi, N. (2008). Induction of seedlessness in Citrus: From classical techniques to emerging biotechnological approaches. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133(1), 117-126. <https://doi.org/10.21273/JASHS.133.1.117>

- Vardi, A., Neumann, H., Frydman-Shani, A., Yaniv, Y., & Spiegel-Roy, P. (2000). Tentative model on the inheritance of juvenility, self-incompatibility and parthenocarpy. *Acta Horticulturae*, 535, 199-205. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.535.24>
- Wan, C. K. (1987). *Development of parthenocarpic fruits in oil palm (Elaeis guineensis Jacq.) due to application of herbicides*. 63(732), 90-95.
- Wassmann, R., Jagadish, S. V. K., Sumfleth, K., Pathak, H., Howell, G., Ismail, A., Serraj, R., Redona, E., Singh, R. K., & Heuer, S. (2009a). *Regional Vulnerability of Climate Change Impacts on Asian Rice Production and Scope for Adaptation*. 102, 91-133. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(09\)01003-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01003-7)
- Wassmann, R., Jagadish, S. V. K., Sumfleth, K., Pathak, H., Howell, G., Ismail, A., Serraj, R., Redona, E., Singh, R. K., & Heuer, S. (2009b). Regional Vulnerability of Climate Change Impacts on Asian Rice Production and Scope for Adaptation. *Advances in Agronomy*, 102, 91-133. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(09\)01003-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01003-7)
- Yamaguchi, S. (2008). Gibberellin metabolism and its regulation. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 225-251. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092804>
- Yáñez, E., García, J., & Amaya, S. (2000). Metodología alterna para el análisis de racimos de palma de aceite. *Revista Palmas*, 21(1), 295-303. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/798>
- Yáñez, E., García, J., Fernández, C., & Rueda, C. (2006). *Guía de análisis de racimo*. Cenipalma.
- Zambrano R., J. E. (2004). Híbridos interespecíficos *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*. Una alternativa de renovación para la zona oriental de Colombia. *Revista Palmas*, 25, 339-349. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1098>

3. Capítulo 3. Inducción y desarrollo de frutos con hormonas en híbridos *OxG* de palma de aceite (*Elaeis oleifera* Kunth Cortes x *Elaeis guineensis* Jacq.)

Resumen

Los racimos de híbridos *OxG* presentan más frutos partenocárpicos (FP) que normales (FN) y tienen problemas de desarrollo y maduración por la apertura asincrónica de las flores o una polinización insuficiente. El objetivo de este estudio fue comparar el efecto de α -naftalenacético (ANA) y ácido giberélico (AG_3) en la inducción y desarrollo de FP y FN, el perfil de ácidos grasos y el potencial de aceite en el híbrido Alto Oleico. Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA), ocho tratamientos, tres épocas de aplicación (pre-antesis, antesis, pos-antesis), cuatro repeticiones, y cuatro inflorescencias/repetición. Se observó un efecto combinado de ANA y AG_3 en la inducción y desarrollo de los FP. Las dosis de ANA 600 ppm y ANA 600 + AG_3 150 ppm mostraron ser las más promisorias para uso complementario de la polinización asistida en el híbrido. Las dosis de ANA y AG_3 , solas o en mezcla, no alteraron el perfil de los ácidos grasos del aceite de mesocarpio de los frutos. Las aplicaciones de ANA y AG_3 son alternativas viables para usar como complemento en la polinización asistida de híbridos y aumentar la producción de racimos y rendimiento de aceite.

3.1. Introducción

Las hormonas vegetales (fitohormonas) son sustancias orgánicas sintetizadas por las plantas que tienen la capacidad de afectar los procesos fisiológicos en concentraciones más bajas que los nutrientes o las vitaminas y sus sitios de síntesis y de acción están físicamente separados, por lo cual su transporte entre células u órganos es necesario (Azcón-Bieto & Talón, 2013; Bishop et al., 2015; Marschner, 2012). Entre las hormonas más comunes se destacan las **auxinas** ácido α -naftalenacético (ANA) y ácido 2,4 di-cloro-fenoxiacético (2,4-D) que promueven la elongación del

meristemo apical, el grosor de los frutos e incrementan la formación de flores (Bennett & Leyser, 2014; Fishel, 2006). Las **giberelinas** (AG_3) estimulan la división y elongación celulares, longitud de tallos y tamaño de flores y frutos, además de inducir, en gran variedad de plantas, otros procesos fisiológicos como el desarrollo de frutos sin la fertilización de los óvulos (partenocarpia), existiendo una correlación entre los niveles de ácido giberélico (AG_3) en ovarios polinizados y el grado de partenocarpia observado (Bishop et al., 2015). Las auxinas están involucradas en el control de la expresión sexual de varios cultivos perennes y hay reportes que indican niveles de auxinas mayores en inflorescencias femeninas que masculinas y que la aplicación exógena de auxinas puede inducir mayor floración femenina en *E. guineensis*, mientras que favorecen la floración masculina en *Phoenix dactylifera* (Corley, 1976). En palma *E. guineensis*, la aplicación de la hormona Etephon, que libera etileno en los tejidos, retrasa la floración mientras que el AG_3 produjo una floración femenina precoz (Hartley, 1988).

En muchas especies de plantas se puede inducir partenocarpia en los frutos y mayor crecimiento de estos, mediante la aplicación de auxinas y giberelinas. Estas últimas pueden inducir un incremento en el contenido de auxinas endógenas en el ovario de una flor no polinizada y provocar el crecimiento de frutos en ausencia de fecundación (Azcón-Bieto & Talón, 2013; Mesejo et al., 2008). La producción de frutos partenocárpicos está sujeta a la capacidad del ovario para acumular niveles suficientes de fitohormonas para que se desarrolle el fruto sin la necesidad de que se formen las semillas, capacidad denominada “aptitud partenocárpica” (Acciarri et al., 2002; Azcón-Bieto & Talón, 2013).

El empleo de AG_3 , si es asperjado en el momento adecuado para cada cultivo (floración o pos-floración), es una alternativa para aumentar el rendimiento, siendo los frutos partenocárpicos una opción comercial que se debe aprovechar. La aplicación exógena de AG_3 se utiliza en diferentes cultivos para aumentar la producción y el tamaño de los frutos. Sin embargo, en condiciones de polinización cruzada, su aplicación puede perjudicar la formación de frutos normales, porque aumenta el aborto de óvulos o reduce el crecimiento del tubo polínico, favoreciendo la obtención de frutos sin semillas (Mesejo et al., 2008). Uno de los primeros estudios con hormonas en palma de aceite indicó que la auxina 2,4,5-TP (ácido 2,4,5, triclora fenoxipropiónico) era efectiva en inducir partenocarpia en las inflorescencias de palmas Pisíferas, usualmente estériles (Menéndez & Black, 1963; Sparnaaij, 1962). Posteriormente, (Thomas et al., 1973) reportaron inducción de partenocarpia con aplicaciones exógenas de ANA y ácido giberélico (AG_3). Por su parte, (Corley, 1973, 1976) observó que el ANA favoreció la emisión de inflorescencias femeninas, aunque su

efecto solo apareció 24 meses después del tratamiento.

Los efectos biológicos de los reguladores de crecimiento en las plantas han recibido mucha atención por su impacto económico en la agricultura, especialmente en flores y frutales (Salisbury & Ross, 1985, 1992), debido a que el crecimiento, desarrollo y producción de los cultivos puede incrementarse mediante la manipulación de concentraciones de hormonas (Marschner, 2012). Esto se refleja en el uso a gran escala de los bioestimulantes de síntesis química (Grossmann, 1990; Nitsche et al., 1985; Rao et al., 2002). La aplicación de fitohormonas en floración o pos-floración puede ser una alternativa para aumentar la cantidad y calidad de los frutos partenocárpicos en los híbridos y reducir la frecuencia y costos de la polinización asistida. Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue comparar el efecto de la aplicación de AG₃ y ANA en la inducción, crecimiento y desarrollo de los frutos (partenocárpicos y normales) del racimo, el perfil de ácidos grasos y el potencial de aceite en el híbrido *OxG* Alto Oleico.

3.2. Materiales y métodos

Para el trabajo, se ejecutaron dos experimentos simultáneos localizados en los municipios de Barranca de Upía (Meta) y Paratebueno (Cundinamarca). Se evaluaron los efectos de dosis de ácido 1-naftalenacético (ANA) y ácido giberélico (AG₃) y sus mezclas, aplicadas sobre las inflorescencias, en dos sistemas de aislamiento (embolsadas y sin embolsar). Los tratamientos hormonales para los dos experimentos, se escogieron con base en un ensayo exploratorio preliminar realizado con el híbrido *OxG* (Brasil x Pisífera Unipalma) en la plantación Las Brisas Puerto Wilches (Santander) el cual mostró que dosis de ANA (300 ppm) y AG₃ (150 ppm) fueron promisorias para mejorar la producción de racimos y el potencial de aceite de las palmas híbridas. Además, se incluyó la dosis de ANA 600 ppm con el fin de probar los efectos de esta dosis más alta de la hormona que ciertas plantaciones habían comenzado a utilizar.

3.2.1. Experimento 1. Comparación de ANA y AG₃ en la inducción y desarrollo de frutos del híbrido *OxG* Coarí x La Mé.

Se realizó el experimento entre diciembre de 2016 y junio de 2017 en la plantación comercial Guaicaramo localizada en Barranca de Upía, Meta, Colombia (7° 14' 52.40" N 73° 48' 15.56" O), temperaturas media 30 °C, máxima 34 °C, mínima 22 °C, humedad relativa 75%, precipitación 2.497 mm/año, evaporación 1.208 mm/año y 2.130 horas brillo solar/año. El material fue CxLM

Alto Oleico, sembrado en 2010 en un campo experimental con suelo textura dominante Franco Arcillo Arenosa (FArA). Las características principales de calidad del suelo del lote experimental (**Anexo A**) y las condiciones climáticas predominantes (**Anexo B**) fueron favorables para el desarrollo de los experimentos.. Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA), ocho tratamientos, cuatro repeticiones, y cuatro inflorescencias/repetición (**Tabla 3-1**).

Tabla 3-1: Tratamientos experimento 1.

Tratamientos	Dosis (mg L ⁻¹)	Época aplicación
1) ANA *	300	Antesis
2) ANA	600	Antesis
3) AG ₃ **	150	Antesis
4) ANA + AG ₃	300 + 150	Antesis
5) ANA + AG ₃	600 + 100	Antesis
6) Polen comercial +	0,9 + 0,1	Antesis
7) Polen puro	3 g/inflorescencia	Antesis
8) Polen natural	-	-

* Hormonagro (Ácido 1-naftalenacético 17,2 g L⁻¹)

** Progibb (Ácido giberélico 10%)

+ Talco + polen (10:1)

Las inflorescencias femeninas fueron previamente aisladas en el estadio fenológico 601 o preantesis I (Hormaza et al., 2012) y embolsadas de manera cuidadosa para evitar la entrada de polen externo y garantizar que el desarrollo posterior de los frutos del racimo fuera consecuencia exclusiva de la aplicación dirigida de cada tratamiento hormonal respectivo. Para embolsarlas se retiraron las brácteas pedunculares que las envuelven, se pusieron las bolsas especiales de aislamiento y se amarraron firmemente al pedúnculo floral asegurándose que quedaran herméticas para evitar la entrada de polen externo. Los tratamientos se aplicaron cuando las inflorescencias alcanzaron el estadio fenológico 607 de antesis (80% de flores con estigmas receptivos de color crema) (Hormaza et al., 2011) por medio de un atomizador insertado en la ventana de la bolsa asperjando de forma uniforme cada inflorescencia con una solución de 60 ml de la dosis correspondiente y luego el agujero se selló con cinta aislante. Las bolsas se retiraron 10 días después de la aplicación. La cosecha de los racimos se hizo siguiendo el criterio de cosecha de desprendimiento de los primeros frutos y/o presencia de cuarteamiento de estos (González et al., 2013; Hormaza et al., 2011). Se realizaron los análisis de racimos (Prada & Romero, 2012; Yáñez et al., 2000, 2006) para determinar peso del racimo, frutos/racimo (normales, partenocárpicos y abortados), aporte de los frutos normales y partenocárpicos al aceite del racimo, potencial de aceite y tasa real de extracción de aceite. Se realizó el perfil de ácidos grasos de las muestras de aceite

con los protocolos del laboratorio del Centro de Investigación Palmar de La Vizcaína de Cenipalma, de acuerdo con las normas de la (American Oil Chemists' Society [AOCS], 1994).

Los datos generados que no presentaron homogeneidad de varianza se transformaron por medio de $\sqrt{x + 0,5}$ y se sometieron al análisis de varianza. Para las diferencias entre los tratamientos se utilizó la prueba de Duncan ($p \leq 0,05$). Se hizo análisis de correlación para observar la asociación entre las variables componentes del racimo y del rendimiento de aceite. Los análisis estadísticos se hicieron con el programa estadístico SAS® 9.0.

3.2.2. Experimento 2. Manejo de ANA y AG₃ en la polinización asistida del híbrido *OxG* Coarí x La Mé

Se realizó entre diciembre 2016 y noviembre de 2017 en la plantación comercial Campoalegre localizada en Paratebueno, Cundinamarca, Colombia (4° 20' 19.92" N 73° 02' 58,49" O), 193 msnm, temperaturas media 30 °C, máxima 34 °C, mínima 23 °C, humedad relativa 75%, precipitación 2.190 mm/año, y 2.130 horas brillo solar/año. El material fue CxLM Alto Oleico, sembrado en 2009, a 128 palmas/ha, en un campo experimental con suelo textura dominante Franco (F) (**Anexo C**). Las condiciones climáticas predominantes en la plantación durante el periodo experimental se presentan en el **Anexo D**. Se seleccionaron las inflorescencias en preantesis I (estadio 601), no se embolsaron, y se procedió como en la polinización asistida comercial. Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA), siete tratamientos, tres épocas de aplicación pre-antesis (estadio 601), antesis (estadio 607), pos-antesis (estadio 609) -menos el testigo polen comercial aplicado solo en antesis-, cuatro repeticiones, y cuatro inflorescencias/repeticion (**Tabla 3-2**).

Las aplicaciones se hicieron con bomba de aspersion constante de 20 L, equipada con boquilla de cono abierto. Para las aplicaciones, se abrieron las brácteas pedunculares que envuelven las inflorescencias y se asperjaron 50 ml/inflorescencia del tratamiento respectivo. La cosecha de los racimos se realizó cuando se desprendieron los primeros frutos y/o con el inicio del rajado de estos (González et al., 2013; Hormaza et al., 2011). Para los análisis de racimos, se usaron las metodologías establecidas por (Prada & Romero, 2012; Yáñez et al., 2000, 2006).

Tabla 3-2: Tratamientos experimento 2.

Tratamientos	Dosis (mg L ⁻¹)	Época de aplicación		
		Pre-antesis	Antesis	Pos-antesis
1) ANA *	300	X	X	X
2) ANA	600	X	X	X
3) AG ₃ **	150	X	X	X
4) ANA + AG ₃	300 + 150	X	X	X
5) ANA + AG ₃	600 + 150	X	X	X
6) ANA + polen	600 + 0,5	X	X	X
7) Polen comercial +	1,0 + 0,1		X	

* Hormonagro (Ácido 1-naftalenacético 17,2 g L⁻¹)

* Progibb (Ácido giberélico 10%)

+ Talco + polen (10:1)

Los datos generados que no presentaron homogeneidad de varianza se transformaron por medio de $\sqrt{x + 0,5}$ y se sometieron al análisis de varianza. Para las diferencias entre los tratamientos se utilizó la prueba de Duncan ($p \leq 0,05$), mediante el programa estadístico SAS® 9.0.

3.3. Resultados y discusión

Hasta la fecha, en la literatura científica mundial, no existen investigaciones reportadas sobre el efecto de ANA y AG₃ en la inducción y desarrollo de **FP** y **FN** en híbridos *OxG* de palma de aceite. Por esta razón, los resultados de esta investigación se comparan con los obtenidos en otros cultivos y publicados en revistas científicas indexadas internacionalmente.

3.3.1. Experimento 1

▪ Racimo y frutos

El peso del racimo (**PR**) es la suma del peso conjunto de espiguillas con sus frutos individuales y el peso del pedúnculo o raquis (Mohd, 2000). La **Tabla 3-3** muestra que el **PR** fue significativamente mayor en los tratamientos con polen (polinización comercial y polen puro), comparados con los tratamientos de hormonas (ANA y AG₃) y polen natural. Esto se explica porque la aplicación exógena de polen aumentó la cantidad de granos que llegaron al estigma de las flores femeninas y su germinación posterior favoreció la formación de la mayoría de los **FN** del racimo, mientras que esto no ocurrió en los tratamientos con hormonas donde no entró polen. Por el contrario, en el tratamiento de polen natural se debió, probablemente, a la falta de suficiente polen en el ambiente. El **PR** fue mayor con las dosis de ANA (300 y 600 mg L⁻¹) y las mezclas ANA+AG₃ que con la dosis de AG₃ (150 mg L⁻¹). Este aumento significativo del **PR** se debió,

posiblemente, al efecto conocido de ANA y AG₃ en la inducción de partenocarpia de frutos (Bishop et al., 2015; Engels et al., 2012) y en su expansión y elongación (Bennett & Leyser, 2014; Fos et al., 2000; Leyser & Day, 2015). En palma datilera, (Awad & Al-Qurashi, 2012; El-Kosary, 2009) también encontraron aumentos significativos del peso de racimos y frutos con la aplicación de AG₃.

Tabla 3-3: Efecto de dosis de hormonas sobre los componentes del racimo: **PR** peso racimo, **PQ**, peso raquis, **FN** frutos normales, **FP** frutos partenocárpicos, **FA** frutos abortados.

Tratamiento	Dosis (mg L ⁻¹)	PR (kg)	PQ (kg)	Frutos (%)		
				FN	FP	FA
1) ANA	300	10,8 b	5,8 abc	0,0 b	81,6 a	18,4 b
2) ANA	600	10,7 b	5,2 c	0,0 b	74,7 a	25,3 b
2) AG ₃	150	6,2 cd	4,4 c	0,0 b	78,7 a	21,3 b
4) ANA + AG ₃	300 + 150	10,6 b	5,4 bc	0,0 b	79,6 a	20,3 b
5) ANA + AG ₃	600 + 100	9,6 bc	4,8 c	0,0 b	80,8 a	19,2 b
6) Polen comercial +	0,9 + 0,1	20,8 a	7,4 ab	31,9 a	65,4 b	2,7 c
7) Polen puro	3 g/inflorescencia	21,1 a	7,6 a	30,8 a	66,0 b	3,2 c
8) Polen natural	-	4,7 d	3,6 c	2,7 b	27,0 c	70,3 a
Media		15,0	6,2	14,9	70,5	14,6
CV (%)		21,3	25,5	47,4	22,6	98,8
Significancia		**	**	**	**	**

+ Talco + polen (10:1)

** Prueba F significativa (p<0,01)

El raquis del racimo está compuesto por el pedúnculo y las espiguillas vacías (Breure & Menendez, 1990), representa de 22 a 25% del peso fresco del racimo (Redshaw, 2012) y su peso fresco (**PQ**) se incrementa en forma simultánea y proporcional al aumento del peso del racimo (Corley & Breure, 1992). El **PQ** fue significativamente mayor en los tratamientos con polen que con ANA y AG₃. Probablemente, esto indica que, mientras el polen favoreció el flujo de los asimilados hacia el raquis aumentando el **PQ**, las hormonas lo redujeron favoreciendo el llenado de los **FP** del racimo. La demanda de asimilados para el crecimiento del racimo es proporcional a la formación de los frutos (**FN** y **FP**), aunque no necesariamente significa que la disponibilidad de los asimilados afecte directamente los componentes del rendimiento como el **PQ** (Corley & Breure, 1994). Más bien, es probable que sean consecuencia de los cambios en los niveles hormonales de las semillas en desarrollo, como ocurre en las manzanas (Luckwill, 1970).

Aunque no existen referencias bibliográficas sobre el efecto de la aplicación exógena de hormonas sobre el desarrollo del raquis de palma, este resultado llama la atención ya que una reducción

significativa del **PQ** podría ayudar a disminuir las pérdidas de aceite que ocurren en el proceso de extracción industrial porque, durante los procesos de esterilización y prensado de los racimos en la planta extractora, los raquis representan un factor importante de pérdida al impregnarse de aceite (Redshaw, 2012).

El porcentaje de **FN**/racimo (**FN**) fue significativamente mayor en los tratamientos con polen comercial (31,9%) y polen puro (30,8%), bajo (2,7%) en la polinización natural, y no se formaron **FN** en los tratamientos hormonales. La formación de **FP** pero no de **FN** en los tratamientos con ANA y AG₃ fue debido al aislamiento previo de las inflorescencias que no permitió la entrada de polen extraño alguno. Por el contrario, en los tratamientos con polen (natural, comercial y puro) se formaron **FN** y **FP**, estos últimos como consecuencia de la partenocarpia inducida por el polen (Azcón-Bieto & Talón, 2013; Fos et al., 2001; Mesejo et al., 2008).

Esto se explica porque, la formación de **FN** requiere la llegada de los granos de polen al estigma receptivo de las flores en anthesis, lo cual no ocurrió en los tratamientos hormonales por el aislamiento de las inflorescencias. Por el contrario, en todas las dosis de hormonas, el porcentaje de **FP**/racimo (**FP**) fue mayor. Aunque no hubo diferencias estadísticas significativas entre las dosis de hormonas, se observó que los **FP** con Auxina 300 y Auxina 600 + AG₃ 150 fueron mayores. Fue evidente que ANA y AG₃ estimularon inducción de partenocarpia en la mayoría de frutos del racimo y favorecieron su desarrollo. En algunas especies de plantas, se puede inducir partenocarpia y crecimiento de frutos con ANA y AG₃, debido a que AG₃ incrementa el contenido de auxinas endógenas en el ovario de una flor no polinizada y provoca el crecimiento de frutos en ausencia de fecundación (Azcón-Bieto & Talón, 2013; Mesejo et al., 2008).

Los cambios en las concentraciones internas de fitohormonas durante el desarrollo de los frutos muestran que las mayores concentraciones de ANA y AG₃ se alcanzan cuando la tasa de acumulación de masa seca es máxima, esto es, cuando la actividad vertedero de los frutos y la descarga del floema son mayores (Engels et al., 2012). En híbridos *OxG*, (Prieto et al., 2015) también observaron aumento en el crecimiento de los frutos con ANA y AG₃. (Corley & Tinker, 2009) sostienen que la cualidad de los híbridos de tener más **FP**/racimo es heredada de la madre *E. oleifera*, que puede ser de 49% (Zambrano R., 2004) o 56% (Rosero Estupiñán et al., 2017), dependiendo de su origen genético.

El aborto de frutos/racimo (**FA**) fue bajo en la polinización comercial (2,7%), polen puro (3,2%) y alto (70,3%) en la polinización natural, mientras que en los tratamientos con hormonas fue intermedio (18,4 a 25,3%). Los **FA** incluyen los que no se formaron por ausencia total de polen (tratamientos hormonales), por escasez de polen circundante (polinización natural), por condiciones ambientales adversas durante su desarrollo inicial y por la temperatura alta generada en el interior de las bolsas de aislamiento. Entonces, es probable, que los **FA** con las hormonas sean resultado de la acción conjunta de la ausencia de polen y la temperatura alta en el interior de las bolsas; mientras que en la polinización natural, haya sido por la alta temperatura ambiental durante la formación de los frutos y crecimiento del racimo. En efecto, se presentaron temperaturas relativamente altas durante el periodo experimental (**Anexo B**) y la temperatura es uno de los factores climáticos que más incide en los procesos fisiológicos de las plantas (Lagos B. et al., 2015) y su efecto es más perjudicial durante la formación de los primordios florales (Hedhly, 2011).

Varios autores afirman que los abortos prematuros de los frutos del racimo pueden ser consecuencia de polinizaciones incorrectas, escasez de asimilados, estrés hídrico o temperaturas extremas durante el desarrollo de los frutos (Combres et al., 2013; Corley & Breure, 1994; Corley & Tinker, 2016). Los abortos de inflorescencias y frutos suelen ocurrir de dos a cinco meses antes de la antesis (Sparnaaij, 1959) o 10 meses antes de la cosecha (Corley & Tinker, 2009) y las inflorescencias femeninas son más susceptibles al aborto que las masculinas con tendencia preferencial de las inflorescencias más grandes (Breure & Menendez, 1990; Corley & Breure, 1994). (Taiz & Zeiger, 2006) señalan que, los abortos sorpresivos de flores y frutos que ocurren durante épocas secas, aún en palmas con polinización asistida, es un efecto fisiológico directo de las temperaturas elevadas que disminuyen la reserva de carbohidratos en los granos de polen y en las células del estigma, lo cual altera la distribución de asimilados al cambiar el balance entre la carga simplástica y apoplástica del floema. Algunas cucurbitáceas, no obstante haber sido polinizadas artificialmente, también presentan abortos florales y de frutos cuando su desarrollo coincide con episodios de sequía y temperatura alta (Quan Yu, 1999).

La polinización natural depende de la disponibilidad de polen en el ambiente y la actividad de los insectos polinizadores presentes, esta última fuertemente influenciada por las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa (Hardon & Turner, 1967; Hartley, 1988; Syed, 1979; Tandon et al., 2001). Así, la tasa baja de polinización se traduce en un número menor de **FN**

y mayor de **FA**, variables de suma importancia para el rendimiento de aceite por hectárea (La Cabaña S.A., 2009; Á. Sánchez Rodríguez et al., 2011).

El crecimiento de flores y frutos y la germinación de los granos de polen son los procesos más afectados por las altas temperaturas durante los episodios de estrés hídrico (Bita & Gerats, 2013) y, por lo tanto, comprometen el rendimiento de los cultivos sensibles (Sakata & Higashitani, 2008; Wassmann et al., 2009b). (Binder & Patterson, 2009) aseguran que el aborto y abscisión de los frutos por efecto de altas temperaturas, se debe al aumento de las concentraciones internas de ácido absísico (ABA) y etileno (ET). Asimismo, (Sakata et al., 2010) sugieren que la esterilidad del polen está relacionada con una alteración de la biosíntesis de auxinas durante el desarrollo de las anteras, lo cual reduce las posibilidades de fecundación de las flores femeninas en antesis y aumenta el aborto prematuro de frutos. Además, en condiciones de alta temperatura los niveles internos de auxinas (ANA) y giberelinas (AG₃) disminuyen, lo cual puede llevar a la senescencia de la planta y sus órganos (Larkindale et al., 2005; Larkindale & Huang, 2004; Talanova et al., 2003).

▪ **Aceite del racimo**

El aporte de los **FN** al aceite del racimo (**ARFN**) fue mayor en los tratamientos con polen (comercial y puro) y bajo (2,0%) en la polinización natural, (**Tabla 3-4**), mientras que fue 0,0 en todos los tratamientos hormonales como consecuencia lógica de no formación de **FN** en esos racimos que no recibieron polen. En contraste, los **FP** contribuyeron más al aceite del racimo (**ARFP**), porque se formaron por el estímulo hormonal que recibieron y porque su mesocarpio, de hasta 98% del fruto, aporta más aceite que el de los **FN** (Bastidas et al., 2007; Preciado Q. et al., 2011a, 2011b).

Tabla 3-4: Efecto de dosis de hormonas sobre el potencial de aceite del racimo (**PA**), tasa real de extracción de aceite del racimo (**TEA**) y aporte de los frutos normales (**ARFN**) y partenocárpicos (**ARFP**) al aceite del racimo.

Tratamiento	Dosis (mg L ⁻¹)	Aceite/racimo (%)			
		ARFN	ARFP	PA	TEA
1) ANA	300	0,0 b	20,0 a	20,0 a	17,0 a
2) ANA	600	0,0 b	22,6 a	22,6 a	19,2 a
2) AG ₃	150	0,0 b	13,8 ab	13,8 b	11,8 b
4) ANA + AG ₃	300 + 150	0,0 b	22,6 a	22,6 a	19,2 a
5) ANA + AG ₃	600 + 100	0,0 b	23,7 a	23,7 a	20,1 a
6) Polen comercial ⁺	0,9 + 0,1	11,6 a	11,5 b	23,1 a	19,6 a
7) Polen puro	3 g/inflorescencia	10,6 a	11,6 b	22,2 a	18,8 a
8) Polen natural	-	2,0 b	6,1 c	8,1 c	6,9 c
Media		5,3	16,1	21,4	18,2
CV (%)		55,6	29,8	22,2	22,2
Significancia		**	**	*	*

⁺ Talco + polen (10:1)

* Prueba F significativa (p<0,05)

** Prueba F significativa (p<0,01)

PA=ARFN+ARFP

TEA=PA*0,85

El **PA** es un valor teórico del contenido de aceite en los RFF que llegan a la planta extractora. El **PA** y la **TEA** fueron menores en la polinización natural y la dosis AG₃ 150 ppm y estadísticamente iguales en los tratamientos con polen (polinización comercial y polen puro) y las otras dosis de ANA y AG₃. Esto se explica porque la **TEA** (valor estimado de la extracción de aceite/racimo en la planta extractora) se calcula con el **PA** (TEA=PA*0,85) y las dos variables dependen del aporte de aceite que hacen los frutos normales (**ARFN**) y partenocárpicos (**ARFP**). (Corley & Tinker, 2009) sostienen que las variaciones que existen en el **PA** y la **TEA** dependen de la proporción de **FN** y **FP** del racimo que son los que contienen aceite ya que el **PA** indica la cantidad de aceite que es posible extraer por unidad de RFF (Moreno Corredor et al., 2018) y la **TEA** es el porcentaje real de extracción de aceite en los RFF procesados en la planta extractora.

▪ Análisis de la asociación entre los componentes del racimo y el rendimiento de aceite

En la **Tabla 3-5** se presentan los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables analizadas. La correlación del **PR** fue positiva y significativa (p≤0.01) con **FN** y **ARFN**, negativa y significativa (p≤0.01) con **FA** y **ARFP**, pero no fue significativa con **PA** y **TEA**. Esto indica la asociación estrecha entre el **PR** con **FN** y **ARFN**, que son las variables que contribuyen al peso y

aceite del racimo, respectivamente. Por otra parte, la correlación negativa de **PR** con **ARFP** y no significativa con **FP**, indican que el aporte de los **FP** al peso del racimo fue menor cuando los **FN** también se formaron en este, lo cual únicamente sucedió en los tratamientos con polen (**Tabla 3-7**).

Las variables **PA** y **TEA** presentaron correlación positiva significativa ($p \leq 0.01$) con **PR**, **FP** y **ARFP**, pero no con **FN** y **ARFN**. Esto demuestra que, el rendimiento de aceite en el híbrido dependió más de los **FP** del racimo porque los **FN** no se formaron en estos. **TEA** correlacionó significativamente con **PA** como consecuencia lógica de su estimación matemática con base en esta última ($TEA = PA * 0.85$). Las correlaciones negativas de **FA** con las demás variables, se explican debido a que la presencia de estos frutos afecta negativamente los componentes del racimo y su potencial de aceite.

Tabla 3-5: Grado de asociación entre los componentes del racimo (**PR** peso, **FN** frutos normales, **FP** frutos partenocárpicos, **FA** frutos abortados) y los de rendimiento de aceite/racimo (**ARFN** aporte aceite frutos normales, **ARFP** aporte aceite frutos partenocárpicos, **PA** potencial de aceite, **TEA** tasa real extracción de aceite).

	FN	FP	FA	ARFN	ARFP	PA	TEA
PR	0.7 **	0.1 ns	-0.7 **	0.7 **	-0.3 **	0.3 *	0.3 *
FN		-0.4 **	-0.5 **	1.0 **	-0.7 **	0.2 ns	0.2 ns
FP			-0.6 **	-0.4 **	0.7 **	0.5 **	0.5 **
FA				-0.5 **	-0.01 ns	-0.6 **	-0.6 **
ARFN					-0.7 **	0.2 ns	0.2 ns
ARFP						0.6 **	0.6 **
PA							1.0 **

Asteriscos indican valores con significancia $p \leq 0.05$ (*) y $p \leq 0.01$ (**)

▪ Perfil de ácidos grasos

Los principales ácidos grasos (**AG**) encontrados en el mesocarpio de los frutos maduros (**Tabla 3-6**) fueron los ácidos grasos insaturados (**AGI**) oleico (C18:1), linoleico (C18:2), vacénico (C18:1) y los ácidos grasos saturados (**AGS**) palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0); los otros **AG** mirístico (C14:0), margárico (C17:0), palmitoleico (C16:1), α -linolénico (C18:3) y araquídico (C20:0) se encontraron en cantidades exiguas (<1 %). No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (F ns $p < 0.05$) para el perfil de los **AG**. Si bien, el análisis estadístico encontró diferencias en el contenido de **AG** entre los tipos de frutos (**FN** y **FP**), estas no fueron evidentes

para concluir que esa pequeña variación fue debida a los tratamientos. Los híbridos *OxG* tienen contenidos de **AG** intermedios entre los de sus padres *E. oleifera* y *E. guineensis* (Hardon & Tan, 1969b; Macfarlane et al., 1975; Meunier, 1975; Montoya et al., 2013; Opute & Obasola, 1979; Tan, 1985).

Los **AGI** son moléculas químicas con enlaces dobles en su cadena y los **AGS** no los tienen (Cassiday, 2016). La estructura de los **AG** se designa por un símbolo que indica el largo de la cadena carbonada y el número de los dobles enlaces (Cayón, 1998). Los **AGI** son esenciales en la dieta y tienen propiedades cardioprotectoras debido a su capacidad para reducir el colesterol LDL (lipoproteínas de baja densidad), conocido comúnmente como “colesterol malo”, y por aumentar el colesterol HDL (lipoproteínas de alta densidad), considerado “colesterol bueno” (Khosla, 2014). Después de muchos años de haber sido descalificado el aceite crudo de la palma *E. guineensis* porque su contenido de **AGS** representaba un riesgo de enfermedad cardiovascular (Cassiday, 2016), actualmente es considerado un aceite balanceado porque contiene, aproximadamente, 50% de **AGS** (palmítico principalmente) y 50% de **AGI** (oleico principalmente) (Basri Wahid et al., 2005). Según (Icontec, 2009) y (Mozzon et al., 2013), el aceite del *OxG* Alto Oleico, contiene 33% de **AGS** y 66% de **AGI**, principalmente ácido oleico. El contenido de ácido oleico le confiere propiedades cardioprotectoras debido a su capacidad para reducir el colesterol LDL y por aumentar el colesterol HDL (Khosla, 2014).

Tabla 3-6: Efecto de auxina (ANA) y ácido giberélico (AG₃) sobre el perfil de ácidos grasos (% p/p) del aceite del mesocarpio de frutos normales (FN) y partenocárpicos (FP) del híbrido *OxG* (Coarí x La Mé).

Tratamientos	ANA (300 ppm)		ANA (600 ppm)		AG ₃ (150 ppm)		ANA+AG ₃ (300+150)		ANA (600+ 150)		Polen comercial		Polen puro		Polen natural		Media	CV (%)	F (Trat)	F (Frutos)	
	FN	FP	FN	FP	FN	FP	FN	FP	FN	FP	FN	FP	FN	FP	FN	FP					
Palmítico (C16:0)	0,0	29,1	0,0	29,4	0,0	24,0	0,0	29,4	0,0	28,0	32,5	31,5	29,0	27,8	28,3	32,0	20,1	42,5	ns	**	
Estearico (C18:0)	0,0	3,2	0,0	2,7	0,0	3,0	0,0	2,6	0,0	3,6	2,5	2,2	2,3	2,1	3,9	4,1	2,0	29,6	ns	*	
Oleico (C18:1)	0,0	56,4	0,0	55,6	0,0	58,9	0,0	55,2	0,0	57,3	51,9	53,7	54,7	58,1	56,7	54,9	38,3	46,2	ns	**	
Vacénico (C18:1)	0,0	1,0	0,0	1,1	0,0	0,9	0,0	1,3	0,0	1,0	1,4	1,5	1,4	1,6	0,9	0,9	0,8	16,9	ns	**	
Linoleico (C18:2)	0,0	8,6	0,0	9,8	0,0	11,9	0,0	9,8	0,0	8,9	9,9	9,5	10,7	9,0	8,6	5,8	6,4	43,2	ns	*	
Mirístico (C14:0)	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,3	0,0	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	ns	*
Margárico (C17:0)	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	ns	**
Palmitoleico (C16:1)	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,4	0,0	0,2	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	ns	**
α-Linolénico (C18:3)	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,4	0,0	0,3	0,0	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	ns	ns
Araquídico (C20:0)	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	ns	*
Saturados	0,0	33,2	0,0	32,8	0,0	27,5	0,0	32,9	0,0	32,3	36,0	34,5	32,2	30,5	33,0	37,6	22,7	43,2	ns	**	
Insaturados	0,0	66,8	0,0	67,2	0,0	72,5	0,0	67,1	0,0	67,7	64,0	65,5	67,8	69,5	67,0	62,5	46,1	47,5	ns	**	

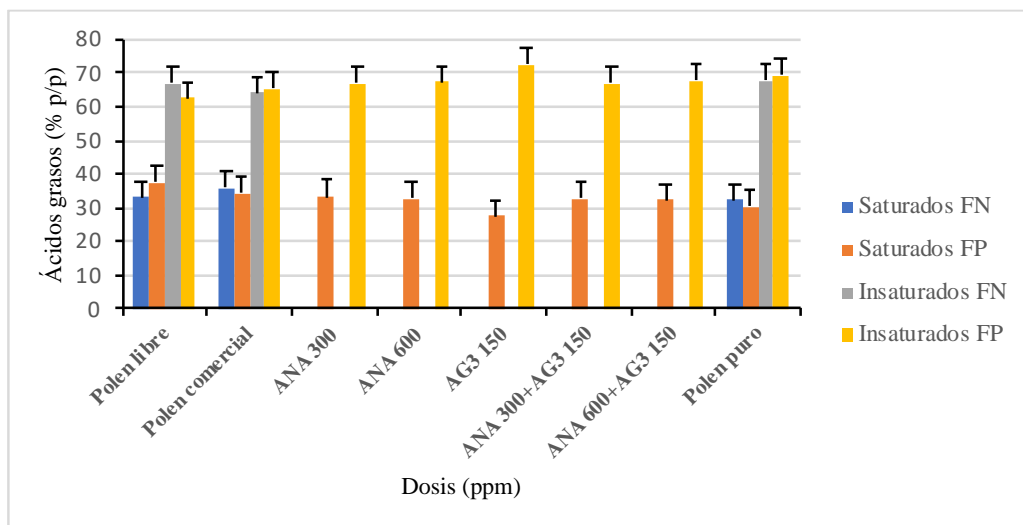
ns Prueba F no significativa (p<0,05)

* Prueba F significativa (p<0,05)

** Prueba F significativa (p<0,01)

La Figura 3-1 muestra el efecto de ANA y AG₃ sobre el conjunto de ácidos grasos del aceite en los frutos del híbrido Alto Oleico. En todos los tratamientos, los **AGI** fueron significativamente mayores ($p < 0,01$) que los **AGS** y no variaron por efecto de las dosis, como lo muestran las líneas de desviación estándar respectivas. No obstante, las diferencias en **AGI** y **AGS** fueron altamente significativas ($p < 0,01$) entre los **FN** y **FP**. En los tratamientos con polen (polen libre, polen comercial y polen puro), los **AGI** de los **FN** y **FP** fueron similares, pero significativamente mayores ($p < 0,01$) que los **AGS** de ellos. De igual modo, se observó que los **AGI** de los **FP** formados en las dosis de hormonas, fueron similares al de los **FN** de los tratamientos con polen. Cabe anotar que, con las hormonas no se formaron **FN** porque, como se explicó antes, en las inflorescencias embolsadas de esos tratamientos no entró polen alguno.

Figura 3-1: Efecto de ANA y AG₃ sobre la cantidad de los ácidos grasos del aceite de mesocarpio de frutos normales (FN) y partenocápicos (FP) del híbrido *OxG* (Coarí x La Mé).



De acuerdo con los resultados de este experimento, es posible concluir que la aplicación exógena de las dosis de ANA y AG₃, solas o en mezcla, no afectaron el contenido potencial de aceite/racimo (**PA**), la tasa real de extracción de aceite en la planta extractora (**TEA**), y no alteraron el perfil de ácidos grasos del aceite del mesocarpio de los frutos. Por lo tanto, podrían considerarse promisorias para su uso como complemento de la polinización asistida del híbrido Alto Oleico.

3.3.2. Experimento 2

▪ Racimo y frutos

La **Tabla 3-7** muestra el efecto de los tratamientos sobre los componentes del racimo. Para el **PR**, hubo diferencias estadísticas entre tratamientos ($p \leq 0,01$) y época de aplicación ($p \leq 0,05$), pero no en la interacción (tratamiento x época). El mayor **PR** (19,6 kg) se obtuvo con la polinización comercial ($p < 0,01$). En general, con las hormonas hubo disminución de 50% del **PR**, comparado con la polinización comercial. Entre las dosis hormonales, los **PR** fueron superiores con ANA + AG₃ (300+150) y ANA + AG₃ (600+150) aplicadas en Pre-antesis y Antesis y significativamente menores en todas las dosis aplicadas en Pos-antesis. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por (Awad & Al-Qurashi, 2012) y (Doaigey et al., 2013) en racimos de palma datilera (*Phoenix dactylifera*) embolsados y tratados con varias dosis de AG₃, quienes encontraron racimos de mayor peso con la dosis de AG₃ 150 ppm.

Para el peso del raquis (**PQ**), no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos ni en la interacción (tratamiento x época). Sin embargo, se observó mayor PQ con la aplicación de polen comercial (1,5 kg) mientras que el PQ fue menor con ANA y AG₃. Esto probablemente indica que, durante el crecimiento del racimo, las hormonas ANA y AG₃ reducen el transporte de los asimilados hacia el raquis, favoreciendo el desarrollo de los frutos (FN y FP). Según Corley & Breure (1994), el **PQ** aumenta con el incremento del PR pero disminuye en forma lineal con el incremento de la actividad de fructificación en el racimo. Las diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las épocas de aplicación evidenciaron una ligera tendencia del PQ a ser menor cuando ANA y AG₃ se aplicaron en Pos-antesis (con las aplicaciones de ANA y AG₃ en Pos-antesis).

En la **Tabla 3-8** también se observa que los **PR** bajos con las dosis de ANA y AG₃ estuvieron asociados a los escasos **FN** que formaron (que son los que tienen semilla y contribuyen más al **PR**) y al mayor aborto prematuro de frutos (**FA**) presentados en esos tratamientos en comparación con el polen comercial. Aunque con ANA y AG₃, aplicadas en Pos-antesis, se obtuvieron racimos de menor peso, estos tuvieron formación satisfactoria de **FP**, lo cual sugiere que la acción hormonal, relativamente tardía, indujo la partenocarpia en las inflorescencias. Para el manejo de la polinización comercial de los híbridos, esto podría ser promisorio, porque ayudaría a la formación de **FP** en las inflorescencias que no recibieran polen en la fase precisa de antesis.

Los **FN** y **FP** presentaron diferencias entre las dosis de hormonas ($p \leq 0,01$ y $p \leq 0,05$), pero no entre las épocas de aplicación. La formación de **FN** fue significativamente mayor con polen comercial (40,7%) que con ANA y AG₃, en contraste con la de **FP** que fue superior en las dosis de ANA y AG₃. Esto significa que, al aplicar únicamente estas hormonas, solo se formarían **FP** en el racimo y no los **FN** que requieren el polen para su formación. Las aplicaciones exógenas de ANA y AG₃ promueven la acumulación de estas hormonas en el ovario e inducen la formación de **FP** (Dorcey et al., 2009; Mignolli et al., 2012; Seop et al., 1992; Tiwari et al., 2012) pero no de los **FN** porque para que estos se formen es necesaria la polinización y fecundación del ovario. Por el contrario, el mayor porcentaje de **FN** con polen comercial es consecuencia lógica de la cantidad de granos de polen que llegaron a las inflorescencias en antesis, lo cual favoreció la formación de la mayoría de **FN** del racimo. La formación escasa de **FN** en los tratamientos con ANA y AG₃ se debió, probablemente, a la presencia de polen natural en el ambiente, porque el lote experimental estaba ubicado entre parcelas de *E. guineensis* que, tal vez, sirvieron de fuente de polen. Según (Hardon & Turner, 1967), la disponibilidad de polen en inmediaciones de palmas *E. guineensis*, se debe a que la gran mayoría del polen emitido por las inflorescencias masculinas permanece dentro del dosel y puede ser transportado a las palmas vecinas, favoreciendo la formación de **FN**. En un estudio reciente, en el híbrido Coarí x La Mé sin polinización asistida, pero con presencia perimetral cercana de palmas *E. guineensis*, también se observó formación adecuada de **FN** (Chaves et al., 2018). Así, las dosis de ANA 600 ppm y ANA 600 ppm + AG₃ 150 ppm, en floración o pos-floración, pueden considerarse promisorias para uso como complemento de la polinización asistida.

Tabla 3-9: Efecto de dosis de hormonas sobre los componentes del racimo (**PR** peso racimo, **PQ**, peso raquis, **FN** frutos normales, **FP** frutos partenocárpicos, **FA** frutos abortados).

Tratamiento	Dosis (mg L ⁻¹)	Época	PR (kg)	PQ (kg)	Frutos (%)		
					FN	FP	FA
1) ANA	300	Pre-antesis	10,2 b	1,0 ab	6,2 c	42,5 a	40,3 a
		Antesis	11,8 b	1,0 ab	9,8 c	36,2 ab	42,8 a
		Pos-antesis	8,4 c	0,6 b	4,9 c	55,2 a	32,4 bc
2) ANA	600	Pre-antesis	9,4 b	1,1 ab	10,7 c	38,1 ab	39,1 a
		Antesis	8,6 c	0,8 b	4,5 c	44,9 a	38,7 a
		Pos-antesis	6,9 c	0,8 b	6,3 c	31,3 b	49,8 a
3) AG ₃	150	Pre-antesis	10,3 b	1,2 ab	6,0 c	37,6 ab	42,5 a
		Antesis	12,2 b	1,2 ab	6,7 c	41,2 a	39,4 a
		Pos-antesis	8,4 c	1,0 ab	11,3 c	31,9 b	47,4 a
4) ANA + AG ₃	300 + 150	Pre-antesis	13,3 b	1,4 a	28,5 b	32,1 b	29,6 b
		Antesis	11,4 b	1,1 ab	17,5 b	36,5 ab	36,6 a
		Pos-antesis	11,1 b	1,2 ab	29,0 b	33,9 b	30,2 c
5) ANA + AG ₃	600 + 150	Pre-antesis	10,8 b	1,0 ab	7,8 c	52,2 a	31,1 ab
		Antesis	9,2 b	1,2 ab	13,5 b	39,8 a	35,0 ab
		Pos-antesis	8,3 c	1,0 b	9,6 b	51,4 a	29,7 b
6) ANA + polen	600 + 0,5	Pre-antesis	10,1 b	1,1 ab	6,8 c	36,3 ab	46,6 a
		Antesis	10,4 b	1,0 ab	5,0 c	34,5 ab	46,0 a
		Pos-antesis	8,2 c	1,0 ab	6,2 c	38,1 ab	43,1 a
7) Polen comercial	1,0 + 0,1	Antesis	19,6 a	1,5 a	40,8 a	25,8 c	25,1 c
Media			10,4	4,6	13,5	37,5	37,7
CV (%)			24,9	28,4	46,9	24,1	23,3
F (Tratamientos)			**	ns	**	*	**
F (Época)			*	*	ns	ns	ns
F (Tratamiento x Época)			ns	ns	ns	ns	ns

** Prueba F significativa (p<0,01)

* Prueba F significativa (p<0,05)

ns Prueba F no significativa (p<0,05)

Después de la polinización de las flores y fertilización del óvulo, el crecimiento y desarrollo de los **FN** son controlados hormonalmente (Ben-Cheikh et al., 1997; Goodwin, 1978; Nitsch, 1971; Pharis & King, 1985), mientras que la formación de **FP** es causada por la esterilidad gamética (incapacidad para producir óvulos o polen fértil) (Mesejo et al., 2008; Mesejo Conejos, 2012; Vardi et al., 2008) y el crecimiento de estos mediado por hormonas como ANA, AG₃ y citoquininas (Lewis et al., 1996; Ohara et al., 1997; Takagi et al., 1994). Sin embargo, cuando las concentraciones endógenas de AG₃ y ANA en el ovario en desarrollo son suficientes, no hay incremento en el tamaño de los frutos (Montalt Resurrección, 2009), demostrando la asociación existente entre niveles altos de giberelinas y auxinas en el ovario y la formación de **FP** (Fos et al., 2000, 2001; Rebers et al., 1999; Robinson et al., 1971). Debido a esto, cuando las polinizaciones naturales o asistidas son deficientes, se podría causar un desbalance hormonal de AG₃ y ANA en el ovario que afectaría el tamaño y llenado de los frutos (Lagos B. et al., 2015).

El aborto de frutos (**FA**) fue diferente entre los tratamientos ($p \leq 0,01$) y menor en la polinización comercial (25,1%). Entre los tratamientos hormonales, los **FA** fueron mayores con ANA 600 ppm, AG₃ 150 ppm y ANA+polen (600+0,5 ppm). Sin embargo, no se puede afirmar, categóricamente, que la presencia de estos frutos malogrados tuvo relación directa con la aplicación de ANA y AG₃, pues en el tratamiento de polen comercial también fueron notorios (25,1%). Se ha observado que la ausencia de polinización provoca la abscisión de frutos, y que la aplicación de AG₃ a frutos no polinizados suple los efectos de la polinización natural y estimula su crecimiento partenocárpico (Azcón-Bieto & Talón, 2013). Igualmente, (Mesejo et al., 2008) afirman que la aplicación exógena de AG₃ aumenta el tamaño de frutos pero, en condiciones de polinización cruzada, puede afectar la fertilización de flores femeninas, porque aumenta los óvulos abortados y reduce el crecimiento del tubo polínico. Esto, probablemente, explica el incremento de **FA** que se observó con las dosis de ANA y AG₃, debido a que la palma de aceite y los híbridos son de polinización cruzada (alógamas).

El fenómeno de asincronía de la floración (antesis lenta e irregular) en los híbridos (Hormaza et al., 2012; Á. Sánchez Rodríguez et al., 2011), causa desarrollo desigual de los racimos porque los frutos no maduran al mismo tiempo (Rincón et al., 2013) y puede ocasionar aborto de los racimos. Además, el aborto de frutos puede ocurrir como consecuencia de polinizaciones incorrectas o episodios de estrés hídrico durante el desarrollo inicial de los frutos del racimo (Corley & Breure, 1994). (Corley & Tinker, 2016) señalan que la diferenciación de sexos y los abortos en palmas *E. guineensis* parecen estar controlados por mecanismos fisiológicos similares inducidos por el estrés hídrico persistente. Los abortos de flores aumentan dramáticamente cuando la sequía reduce el flujo de agua hacia los meristemas florales (Andersson, 2000; Kokubun et al., 2001). Esto, probablemente, es un mecanismo fisiológico de defensa de la planta frente al estrés hídrico para suspender el suministro de carbohidratos de las hojas hacia las flores y frutos futuros. No obstante, otros autores controvierten esta teoría al demostrar que el contenido de carbohidratos en inflorescencias con crecimiento retardado era igual o incluso mayor que en inflorescencias normales (Henson, 1990) por lo cual, consideran que la reducción del suministro de carbohidratos no sea la causa directa de esos abortos (Corley & Tinker, 2009).

▪ **Aceite del racimo**

Se presentaron diferencias significativas del rendimiento de aceite/racimo por efecto de los tratamientos ($p \leq 0,01$) y no entre épocas de aplicación e interacción tratamiento x época (**Tabla 3-8**). Aunque **PA** y **TEA** fueron más altas con polen comercial, no hubo diferencia notable y

consistente con las dosis de ANA y AG₃ y se notó un incremento ligero de **PA** y **TEA** con las aplicaciones de ANA y AG₃ en Pos-antesis. En los tratamientos con ANA y AG₃, el **PA** se debió, principalmente, al mayor aporte de aceite proveniente de los **FP (ARFP)**, los cuales -como se observó en la **Tabla 3-10-** fueron más numerosos que los **FN**. El mismo comportamiento tuvo la **TEA** (TEA=PA*0,85), que es un valor estimado del porcentaje de extracción de aceite en la planta extractora. Esto confirma que el **PA** y la **TEA** dependen directamente del aporte de aceite que hacen los frutos normales (**ARFN**) y partenocárpicos (**ARFP**) al racimo y, en consecuencia, la **TEA** será superior dependiendo de la proporción de **FN** y **FP** que caracteriza cada material híbrido. (Breure & Menendez, 1990), también indican que el contenido de aceite en el racimo es producto del número y peso de los racimos cosechados y el contenido individual de aceite en los frutos.

Tabla 3-11: Efecto de dosis de hormonas sobre el potencial de aceite del racimo (**PA**), tasa real de extracción de aceite del racimo (**TEA**) y aporte de los frutos normales (**ARFN**) y partenocárpicos (**ARFP**) al aceite del racimo.

Tratamiento	Dosis (mg L ⁻¹)	Época	Aceite/racimo (%)			
			ARFN (%)	ARFP (%)	PA (%)	TEA (%)
1) ANA	300	Pre-antesis	2,1 b	25,6 a	27,7 a	23,5 a
		Antesis	3,6 b	19,0 ab	22,6 ab	19,2 ab
		Pos-antesis	2,0 b	28,6 a	30,6 a	26,2 a
2) ANA	600	Pre-antesis	3,4 b	21,1 a	24,5 a	20,8 a
		Antesis	2,4 b	24,0 a	26,4 a	22,4 a
		Pos-antesis	4,8 b	19,8 ab	24,6 a	20,9 a
3) AG ₃	150	Pre-antesis	2,2 b	19,6 ab	21,8 ab	18,5 ab
		Antesis	3,4 b	20,7 ab	24,1 ab	20,5 ab
		Pos-antesis	4,3 b	16,6 b	20,9 ab	17,8 ab
4) ANA + AG ₃	300 + 150	Pre-antesis	10,3 a	16,9 b	27,2 a	23,1 a
		Antesis	8,1 b	16,4 b	24,5 a	20,8 a
		Pos-antesis	10,6 a	16,9 b	27,5 a	23,4 a
5) ANA + AG ₃	600 + 150	Pre-antesis	3,0 b	22,8 a	25,8 a	21,9 a
		Antesis	4,4 b	16,7 b	21,1 ab	17,9 ab
		Pos-antesis	4,0 b	19,4 ab	23,4 ab	19,9 ab
6) ANA + polen	600 + 0,5	Pre-antesis	2,1 b	21,9 a	24,0 ab	20,4 ab
		Antesis	2,3 b	19,4 ab	21,7 ab	18,4 ab
		Pos-antesis	2,2 b	21,9 a	24,1 a	20,5 a
7) Polen comercial	1,0 + 0,1	Antesis	14,9 a	12,0 c	26,9 a	22,9 a
Media			4,7	20,0	24,7	21,0
CV (%)			46,4	19,8	19,9	19,8
F (Tratamientos)			**	**	**	**
F (Época)			ns	ns	ns	ns
F (Tratamiento x Época)			ns	ns	ns	ns

** Prueba F significativa (P<0,01)

* Prueba F significativa (P<0,05)

ns Prueba F no significativa ($P < 0.05$)

PA=ARFN+ARFP

TEA=PA*0,85

Los resultados de este experimento coinciden con los de (Corley & Tinker, 2009) en *E. guineensis* y con un estudio reciente en el híbrido Coarí x La Mé (Chaves et al., 2018), donde expresan que el **PA** depende de la proporción de **FN** y **FP** del racimo que contienen aceite, ya que el **PA** indica la cantidad de aceite que es posible extraer por unidad de racimo fresco (Moreno Corredor et al., 2018).

▪ Análisis económico

Con base en los resultados del experimento 2, se hizo la estimación comparativa de costos de aplicación de hormonas y polinización asistida para una plantación de 500 ha, sembrada a densidad de 128 palmas/ha y con una cosecha uniforme de 13 racimos/palma/año (**Tabla 3-9**). En la polinización asistida, los ciclos de aplicación fueron más frecuentes (cada dos días) y se emplearon más operarios que con la aplicación de hormonas. Esto se manifestó en mayor cantidad de inflorescencias polinizadas (180/día y 90.000/mes) y costo 10,2% menor que la polinización asistida convencional.

Tabla 3-9: Costos comparativos estimados (USD) entre polinización asistida y aplicación de hormonas en una plantación de 500 ha del híbrido Coarí x La Mé.

Rubro	Polinización asistida	Hormonas
Operarios (no.)	23	12
Frecuencia (días)	2	7
Ciclos mensuales (días)	13	4
Inflorescencias polinizadas (ha/día)	150	180
Inflorescencias polinizadas (ha/mes)	75.000	90.000
Costo/ha/mes	35,2	31,6
Costo /ha/año	421,9	379,1
Total costos	17.581	15.795

El costo de la polinización depende del rendimiento de los operarios en la labor, del número de inflorescencias en anthesis y del valor del jornal en la zona de producción (Castiblanco et al., 2013;

Mosquera et al., 2016; Ruíz et al., 2015). Según (Ruíz et al., 2015), el costo promedio de la polinización asistida en las plantaciones de híbridos de la Zona Oriental fue de \$1.032.003/ha, incluyendo insumos (polen + talco), mano de obra, transporte de los operarios, supervisión, administración y bonificaciones monetarias establecidas para incentivar la labor. El mayor rubro en la polinización corresponde a la mano de obra, que alcanza el 80% de los costos.

▪ Conclusiones

- Las hormonas ANA y AG₃ deben considerarse como opciones complementarias de la polinización asistida y no sustitutivas de esta. Su aplicación exige supervisión estricta y permanente para garantizar que la labor se realice con los estándares satisfactorios y produzca los beneficios esperados.
- El uso de ANA y AG₃ tiene impacto operacional y económico importantes porque se logra polinizar mayor cantidad de inflorescencias y se reduce significativamente el costo general de la polinización asistida de las plantaciones.
- No obstante, desde el punto de vista operacional, las aplicaciones de ANA y AG₃ en medio líquido no son convenientes debido al peso de la solución en la bomba de espalda, lo cual disminuye el rendimiento de los operarios, comparado con la aplicación tradicional de la mezcla sólida polen + talco.
- Se recomienda iniciar experimentos con mezclas de polen y formulaciones en polvo de estas hormonas para aliviar la carga y mejorar el rendimiento de los operarios en la polinización

3.4. Bibliografía

- Acciarri, N., Restaino, F., Vitelli, G., Perrone, D., Zottini, M., Pandolfini, T., Spina, A., & Rotino, G. (2002). Genetically modified parthenocarpic eggplants: Improved fruit productivity under both greenhouse and open field cultivation. *BMC Biotechnology*, 2, 1-7.
<https://bmcbiotechnol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1472-6750-2-4>
- Alvarado, A., Bulgarelli, B., & Moya, B. (2000). Germinación del polen en poblaciones derivadas de un híbrido entre *Elaeis guineensis* Jacq. Y *E. oleifera* HBK Cortés. *ASD Oil Palm Papers*, 20, 35-36.

- 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. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10689>
- American Oil Chemists' Society [AOCS]. (1994). *Official and Recommended Methods of the American Oil Chemists Society*.
- Andersson, S. (2000). *The cost of flowers in Nigella degenii inferred from flower and perianth removal experiments*. 161(6), 903-908. <https://doi.org/10.1086/317558>
- Araméndiz-Tatis, H., Cardona-Ayala, C., & Jarma-Orozco, A. (2013). Eficacia de dos métodos para evaluar la visibilidad del polen de Berenjena (*Solanum melogena* L. cv. Lila Criolla). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2), 351-358. <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n2.2013.907>
- Arias, D., Montoya, C., Rey, L., & Romero, H. (2012). Genetic similarity among commercial oil palm materials based on microsatellite markers. *Agronomía Colombiana*, 30(2), 188-195. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/29152/38937>
- Arnaud, F. (1980). Fertilité pollinique de l'hybride *Elaeis melanococca* x *E. guineensis* et des especes parentales. *Oléagineux*, 35(3), 121-129.
- Awad, M. A., & Al-Qurashi, A. D. (2012). Gibberellic acid spray and bunch bagging increase bunch weight and improve fruit quality of «Barhee» date palm cultivar under hot arid conditions. *Scientia Horticulturae*, 138, 96-100. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2012.02.015>
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw-Hill.
- Barba, J., & Baquero, Y. (2013). Híbridos OxG obtenidos a partir de oleíferas Taisha Palmar del Río (PDR), Ecuador. Variedad -PDR (Taisha x Avros). *Revista Palmas*, 34, 315-325. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10690>

- Basiron, Y. (2007). Palm oil production through sustainable plantations. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109(4), 289-295. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200600223>
- Basri Wahid, M., Akmar A., S. N., & Henson, I. E. (2005). Oil Palm—Achievements and Potential. *Plant Production Science*, 8(3), 288-297. <https://doi.org/10.1626/pps.8.288>
- Bastidas P., S., Betancourth, C., Preciado, C. A., Peña, E., & Reyes, R. (2011). Predicción y control de la cosecha en el híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* en la zona palmera occidental de Colombia. II. Determinación del ciclo de cosecha para obtener racimos con alto contenido de aceite. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 12(1), 13-20. https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:211
- 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*. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 8(1), 5-11. https://doi.org/10.21930/rcta.vol8_num1_art:77
- Ben-Cheikh, W., Perez-Botella, J., Tadeo, F. R., & Primo-Millo, E. (1997). Pollination Increases Gibberellin Levels in Developing Ovaries of Seeded Varieties of Citrus. *Plant Physiology*, 14(2), 557-564. <https://doi.org/10.1104/pp.114.2.557>
- Bennett, T., & Leyser, O. (2014). The auxin question: A philosophical overview. En *Auxin and its Role in Plant Development* (pp. 3-19). https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1526-8_1
- Bernal Niño, F. (2005). *El cultivo de la palma de aceite y su beneficio*. Fedepalma, Fedepalma.
- Bettioli Neto, J. E., Del Nero, M., Kavati, R., & Pinto-Maglio, C. A. F. (2009). Viabilidade e conservação de pólen de três anonas comerciais. *Bragantia*, 68(4), 825-837. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000400002>
- Binder, B. M., & Patterson, S. E. (2009). Ethylene-dependent and -independent regulation of abscission. *Stewart Postharvest Review*, 5(1), 1-10. <https://doi.org/10.2212/spr.2009.1.1>

- Bishop, G., Sakakibara, H., Seo, M., & Yamaguchi, S. (2015). Biosynthesis of hormones. En *Biochemistry and Molecular Biology of Plants* (2.^a ed., pp. 769-833). American Society of Plant Physiologists.
- Bitá, C. E., & Gerats, T. (2013). Plant tolerance to high temperature in a changing environment: Scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Frontiers in Plant Science*, 4(273), 1-18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00273>
- Breure, C. J., & Menendez, T. (1990). The Determination of bunch yield components in the development of inflorescences in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Experimental Agriculture*, 26(1), 99-115. <https://doi.org/10.1017/S0014479700015441>
- Carter, C., Finley, W., Fry, J., Jackson, D., & Willis, L. (2007). Palm oil markets and future supply. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109(4), 307-314. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200600256>
- Cassiday, L. (2016). Una controversia de peso: Cambiando paradigmas sobre las grasas saturadas. *Revista Palmas*, 37(4), 41-53. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11962>
- Castiblanco, S., Fontanilla, C., Santacruz, L., Rosero, G., & Mosquera, M. (2013). Comportamiento de los costos y beneficios de los materiales Coari x La Mé e IRHO 1001 en condiciones de Guaicaramo S.A. *Revista Palmas*, 34(4), 33-45. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10934>
- Cayón, G. (1998). Aspectos fisiológicos y bioquímicos de la maduración de los frutos de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). 294-306.
- Chaves, G., Ligarreto-Moreno, G. A., & Cayon-Salinas, 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 Agronomica*, 67(1), 168-176. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n1.62028>
- Choo, Y., & Nesaretnam, K. (2014). Research advancements in palm oil nutrition. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(10), 1301-1315. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201400076>
- Combres, J. C., Pallas, B., Rouan, L., Mialet-Serra, I., Caliman, J. P., Braconnier, S., Soulié, J. Ch., & Dingkuhn, M. (2013). Simulation of inflorescence dynamics in oil palm and estimation of environment-sensitive phenological phases: A model based analysis. *Functional Plant Biology*, 40(3), 263-279. <https://doi.org/10.1071/FP12133>
- Corley, R. H. V. (1973). Oil palm physiology: A review. En *Adv. Oil Palm Cultivation* (pp. 37-51).
- Corley, R. H. V. (1976). *Inflorescence abortion and sex differentiation*. 1, 37-54.
- Corley, R. H. V., & Breure, C. J. (1992). Fruiting Activity, Growth and Yield of Oil Palm. I. Effects of Fruit Removal. *Experimental Agriculture*, 28(1), 99-109. <https://doi.org/10.1017/S0014479700023048>
- Corley, R. H. V., & Breure, C. J. (1994). Actividad de fructificación, crecimiento y rendimiento de la palma de aceite: I. Efectos de la remoción de frutos. *Revista Palmas*, 15(3), 41-49. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/444>
- Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2009). *La palma de aceite*. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite. [Fedepalma].
- Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2016). *The oil palm* (5.^a ed.). John Wiley & Sons.
- Crane, J. C. (1964). Growth substances in fruit setting and development. *Annual Review of Plant Physiology*, 15, 303-326. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.15.060164.001511>

- Crozier, A., Kamiya, Y., Bishop, G., & Yokota, T. (2000). Biosynthesis of hormones and elicitor molecules. En *Biochemistry and Molecular Biology of Plants* (pp. 850-929). American Society of Plant Physiologists.
- Dafni, A., & Firmage, D. (2000). *Pollen viability and longevity: Practical, ecological and evolutionary implications*. 222, 113-132. <https://doi.org/10.1007/bf00984098>
- Dempsey, W. H. (1962). *Pollen Tube Growth in vivo as a Measure of Pollen Viability*. 138(3538), 436-437. <https://doi.org/10.1126/science.138.3538.436>
- Doaigey, A. R., Al-Whaibi, M. H., Siddiqui, M. H., Al Sahli, A. A., & El-Zaidy, M. E. (2013). Effect of GA3 and 2,4-D foliar application on the anatomy of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seedling leaf. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20(2), 141-147. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.12.001>
- Dorcey, E., Urbez, C., Blázquez, M. A., Carbonell, J., & Perez-Amador, M. A. (2009). *Fertilization-dependent auxin response in ovules triggers fruit development through the modulation of gibberellin metabolism in Arabidopsis*. 58, 318-332. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03781.x>
- El-Kosary, S. (2009). Effect of NAA, GA3 and cytophex spraying on Samany and Zaghloul date palm yield, fruit retained and characteristics. *Journal of plant production*, 34(4), 3453-3468. <https://doi.org/10.21608/JPP.2009.117168>
- Engels, C., Kirkby, E., & White, P. (2012). Mineral Nutrition, Yield and Source-Sink Relationships. En *Mineral Nutrition of Higher Plants* (pp. 85-131). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00005-4>
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite. [Fedepalma]. (2015). *La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo* (Anuario Estadístico, p. 173). <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

- Fernández-Escobar, R., Gómez-Valledor, G., & Rallo, L. (1981). In vitro pollen germination in olive cultivars. *Anales de la Estación Experimental de Aula Dei*, 15, 261-272.
- Fishel, F. M. (2006). *Plant Growth Regulators. Document PI-139, Pesticide Information Office, Florida Cooperative Extension Service*. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida.
- Fos, M., Nuez, F., & Garcia-Martinez, J. L. (2000). The gene pat-2, which induces natural parthenocarpy, alters the gibberellin content in unpollinated tomato ovaries. *Plant Physiology*, 122(2), 471-480. <https://doi.org/10.1104/pp.122.2.471>
- Fos, M., Proaño, K., Nuez, F., & García-Martínez, J. L. (2001). Role of gibberellins in parthenocarpic fruit development induced by the genetic system pat-3/pat-4 in tomato. *Physiologia Plantarum*, 111(4), 545-550. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1110416.x>
- Gaaliche, B., Majdoub, A., Trad, M., & Mars, M. (2013). Assessment of pollen viability, germination, and tube growth in eight Tunisian caprifig (*Ficus carica* L.) cultivars. *ISRN Agronomy*, 2013, 1-4. <https://doi.org/10.1155/2013/207434>
- García, J. A., & Yáñez, E. (2000). Aplicación de la metodología alterna para análisis de racimos y muestreo de racimos en tolva. *Revista Palmas*, 21, 303-311. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/799>
- Genty, P., & Ujueta, M. (2013). *Relatos sobre el híbrido interespecífico de palma de aceite OxG - Coarí x La Mé: Esperanza para el trópico*. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite [Fedepalma].
- Girón, E., & Mahecha, X. (2015). Análisis descriptivo de la evolución de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia a partir de los censos palmeros de 1997 y 2011. *Revista Palmas*, 36(2), 13-25. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11074>

- Godefroid, S., Van de Vyver, A., & Vanderborght, T. (2010). Germination capacity and viability of threatened species collections in seed banks. *Biodiversity and Conservation*, 19(5), 1.365-1.383. <https://doi.org/10.1007/s10531-009-9767-3>
- González, D. A., Cayón, G., López, J. E., & Alarcón, W. H. (2013). Development and maturation of fruits of two Indupalma OxG hybrids (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*). *Agronomía Colombiana*, 31(3), 343-351. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/38213/43576>
- Goodwin, P. B. (1978). Phytohormones and fruit growth. En *Phytohormones and Related Compounds: A Comprehensive Treatise* (pp. 175-216). Elsevier.
- Gorguet, B., van Heusden, A. W., & Lindhout, P. (2005). Parthenocarpic fruit development in tomato. *Plant Biology*, 7(2), 131-139. <https://doi.org/10.1055/s-2005-837494>
- Grossmann, K. (1990). Plant growth retardants as tools in physiological research. *Physiologia Plantarum*, 78(4), 640-648. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1990.tb05254.x>
- Gustafson, F. G. (1960). Influence of gibberellic acid on setting and development of fruits in tomato. *Plant Physiol*, 35(4), 521-523. <https://doi.org/10.1104/pp.35.4.521>
- Haniff, H., & Rosland, M. D. (2002). Fruit set and oil palm bunch components. *Journal of Oil Palm Research*, 14(2), 24-33. <http://jopr.mpob.gov.my/wp-content/uploads/2013/09/jopr14dec2002-haniff1.pdf>
- Hardon, J. J., & Tan, G. Y. (1969a). *Interspecific hybrids in the genus Elaeis I. crossability, cytogenetics and fertility of F1 hybrids of E. guineensis x E. oleifera*. 18, 372-379. <https://doi.org/10.1007/BF00397784>
- Hardon, J. J., & Tan, G. Y. (1969b). *Interspecific hybrids in the genus Elaeis I. crossability, cytogenetics and fertility of F1 hybrids of E. guineensis x E. oleifera*. *Euphytic*, 18, 372-379. <https://doi.org/10.1007/BF00397784>

- Hardon, J. J., & Turner, P. D. (1967). Observations on natural pollination in commercial plantings of oil palm (*Elaeis guineensis*) in Malaysia. *Experimental Agriculture*, 3(2), 105-116.
<https://doi.org/10.1017/S0014479700021864>
- Hartley, C. W. S. (1988). *The oil palm*. Longmans Green.
- Hedden, P., & Hoad, G. V. (1985). Hormonal regulation of fruit growth and development. Brit. *Plant Growth Regulator Group Monogr*, 12, 211-225.
- Hedhly, A. (2011). Sensitivity of flowering plant gametophytes to temperature fluctuations. *Expert Opinion on Biological Therapy*, 74, 9-16.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.03.016>
- Henson, I. E. (1990). Retardation of inflorescence growth in oil palm. *Transactions of the Malaysian Society of Plant Physiology*, 1, 207-2014.
- Henson, I. E., Ruiz, R., & Romero, H. M. (2011). The growth of the oil palm industry in Colombia. *Journal of Oil Palm Research*, 23(3), 1.121-1.128. <http://jopr.mpob.gov.my/the-growth-of-the-oil-palm-industry-in-colombia/>
- Hormaza Martínez, P. A., Forero Hernández, D. C., Ruiz Romero, R., & Romero Angulo, H. M. (2010). *Fenología de la palma de aceite africana (Elaeis guineensis Jacq.) y del híbrido interespecífico (Elaeis oleifera [Kunt] Cortes x Elaeis guineensis Jacq.)*. Cenipalma.
<https://repositorio.fedepalma.org/bitstream/handle/123456789/80999/Fenologia%20de%20la%20palma%20de%20aceite%20africana%20y%20del%20h%C3%ADbrido.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hormaza, P., Forero, D., Ruiz, R., & Romero, E. (2011). *Fenología de la palma de aceite africana (Elaeis guineensis Jacq.) y del híbrido interespecífico (Elaeis oleifera x Elaeis guineensis Jacq.)*. Cenipalma.

- Hormaza, P., Mesa Fuquen, E., & Romero, H. M. (2012). Phenology of the oil palm interespecific hybrid *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*. *Scientia Agricola*, 69(4), 275-280.
<https://doi.org/10.1590/S0103-90162012000400007>
- Icontec. (2009). *Norma técnica colombiana 5713: Aceite de palma alto oleico OxG (Elaeis oleifera x Elaeis guineensis)*. Icontec.
- Ingrosso, I., Bonsegna, S., Domenico, S., Laddomada, B., Blando, F., Santino, A., & Giovinazzo, G. (2011). Over-expression of a grape stilbene synthase gene in tomato induces parthenocarpy and causes abnormal pollen development. *Plant Physiology and Biochemistry*, 49(10), 1.092-1.099. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2011.07.012>
- Khairudin, H., & Teoh, C. H. (1988). *Herbicide induced parthenocarpy in oil palm—Preliminary screening of herbicides*. 210-214. <http://agris.upm.edu.my:8080/dspace/handle/0/3430>
- Khosla, P. (2014). Efectos del aceite de palma en la salud humana. Más allá del perfil de ácidos grasos. *Revista Palmas*, 35(2), 59-72.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10980>
- Kokubun, M., Shimada, S., & Takahashi, M. (2001). Flower abortion caused by preanthesis water deficit is not attributed to impairment of pollen in soybean. *Crop Science*, 41, 1.517-1.521.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2001.4151517x>
- La Cabaña S.A. (2009). *Multimedia interactivo: Palma de aceite alto oleico (híbrido OxG)*.
- Labarca, M., Portillo, E., Portillo, A., & Morales, E. (2009). Estructuras reproductivas y polinización entomófila en tres lotes comerciales de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el estado Zulia, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad Del Zulia*, 26(1), 1-22. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/26795>
- Lagos B., T. C., Bacca, T., Herrera P., D. M., & Delgado T., J. L. (2015). Biología reproductiva y polinización artificial del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* (cav.) sendt). *Boletín*

Científico Del Centro de Museos, 19(2), 60-73.

<https://doi.org/10.17151/bccm.2015.19.2.3>

Lagos, T. C., Caetano, C. M., Vallejo, F. A., Muñoz, J. E., Criollo, H., & Olaya, C. (2005).

Caracterización palinológica y viabilidad polínica de *Physalis peruviana* L. y *Physalis philadelphica* Lam. *Agronomía Colombiana*, 23(1), 55-61.

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/19906>

Larkindale, J., Hall, J. D., Knight, M. R., & Vierling, E. (2005). Heat stress phenotypes of *Arabidopsis* mutants implicate multiple signaling pathways in the acquisition of thermotolerance.

Plant Physiology, 138, 882-897. <https://doi.org/10.1104/pp.105.062257>

Larkindale, J., & Huang, B. (2004). Thermo tolerance and antioxidant systems in *Agrostis*

stolonifera: Involvement of salicylic acid, abscisic acid, calcium, hydrogen peroxide, and ethylene. *Journal of Plant Physiology*, 161(4), 405-413. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-01239>

Lewis, D. H., Burge, G. K., Schmierer, D. M., & Jameson, P. E. (1996). Cytokinins and fruit

development in the kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). I. Changes during fruit development.

Physiologia Plantarum, 98, 179-186. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1996.980122.x>

Leyser, O., & Day, S. (2015). Signal Transduction. En *Biochemistry and Molecular Biology of Plants* (2.^a ed., pp. 834-871). John Wiley & Sons.

Lin, Y., Wang, Y., Iqbal, A., Shi, P., Li, J., Yang, Y., & Lei, X. (2017). Optimization of culture medium

and temperature for the in vitro germination of oil palm pollen. *Scientia Horticulturae*, 220, 134-138. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.040>

Luckwill, L. C. (1970). *The control of growth and fruitfulness of apple trees* (pp. 237-253).

Academia Press.

- Macfarlane, N., Swetman, T., & Cornelius, J. A. (1975). Analysis of mesocarp and kernel oils from the american oil palm and F1 hybrids with the west african oil palm. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 26, 1.293-1.298.
- Márquez Guzmán, J. (2013). *Biología de angiospermas*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. (3.^a ed.). Elsevier.
- Marutani, M., Sheffer, R. D., & Kamemoto, H. (1993). Cytological Analysis of Anthurium andraeanum (Araceae), Its Related Taxa and Their Hybrids. *American Journal of Botany*, 80(1), 93-103. <http://www.jstor.org/stable/2445125>
- Mascarenhas, J. P. (1975). The Biochemistry of Angiosperm Pollen Development. *Botanical Review*, 41(3), 259-314. <https://www.jstor.org/stable/4353883>
- McKellar, M., & Quesenberry, K. (1992). Chromosome pairing and pollen viability in *Desmodium ovalifolium* Wall x *Desmodium heterocarpon* (L.) DC hybrids. *Australian Journal of Botany*, 40(2), 243-247. <https://doi.org/10.1071/BT9920243>
- MeléndeZ M., & Ponce, W. (2016). Pollination in the oil palms *Elaeis guineensis*, *E. oleifera* and their hybrids *OxG*. in tropical America. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 46(1), 102-110. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4638196>
- Menéndez, T. M., & Black, G. (1963). *11th Ann. Report. W. Afr.* West African Institute for Oil Palm Research.
- Mesejo, C., Martínez-Fuentes, A., Reig, C., & Agustí, M. (2008). Gibberellic acid impairs fertilization in Clementine mandarin under cross-pollination conditions. *Plant Science*, 175(3), 267-271. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2008.04.008>
- Mesejo Conejos, C. (2012). *Citricultura. El cuajado del fruto. Polinización y partenocarpia. Las giberelinas*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/16898>

- Meunier, J. (1975). Le palmier à huile américain *Elaeis melanococca*. *Oléagineux*, 30(2), 51-61.
<https://agritrop.cirad.fr/439820/1/ID439820.pdf>
- Meunier, J. (1991). Una posible solución genética para el control de la Pudrición del cogollo en la palma aceitera: Híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*. *Revista Palmas*, 12(2), 39-44.
- Mignolli, F., Mariotti, L., Lombardi, L., Vidoz, M. L., Ceccarelli, N., & Picciarelli, P. (2012). *Tomato fruit development in the auxin-resistant dgt mutant is induced by pollination but not by auxin treatment*. 169, 1.165-1.172. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.04.005>
- Mohd, H. H. (2000). Yield and yield components and their physiology. En *Advances in oil palm research* (Vol. 1-I, pp. 146-170). Malaysian Palm Oil Board.
- Montalt Resurrección, R. (2009). *Partenocarpia en cítricos. Estudio preliminar para la caracterización del banco de germoplasma de cítricos del IVIA* [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia].
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/14534/partenocarpia%20en%20citricos.pdf?sequence=1>
- Montoya, C., Lopes, R., Flori, A., Cros, D., Cuéllar, T., Summo, M., Speout, S., Rivallan, R., Risterucci, A. M., Bittencourt, D., Zambrano, J. R., Alarcón, W. H., Villeneuve, P., Pina, M., Nouy, B., Amblard, P., Ritter, E., Leroy, T., & Billotte, N. (2013). Quantitative trait loci (QTLs) analysis of palm oil fatty acid composition in an interspecific pseudo-backcross from *Elaeis oleifera* (H.B.K.) Cortés and oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Tree Genetics & Genomes*, 9, 1207-1225. <https://doi.org/10.1007/s11295-013-0629-5>
- Moreno Corredor, E., García, J. M., Díaz Rangel, C. A., Meneses, H. M., Ramírez Contreras, N. E., & García Nuñez, J. A. (2018). Optimización de la medición del potencial industrial de aceite.

Revista Palmas, 38(4), 98-107.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12359>

Mosquera, M., Valderrama, M., Fontanilla, C., Ruiz, C., Uñate, M., Rincón, F., & Arias, N. (2016).

Costos de producción de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia en 2014.

Revista Palmas, 37(2), 37-53.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11737>

Mozzon, M., Pacetti, D., Lucci, P., Balzano, M., & Frega, N. G. (2013). Crude palm oil from

interspecific hybrid *Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*: Fatty acid regiodistribution and molecular species of glycerides. *Food Chemistry*, 141(1), 245-252.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.016>

Murphy, D. J. (2014). The future of oil palm as a major global crop: Opportunities and challenges.

Journal of Oil Palm Research, 26(1), 1-24. <http://jopr.mpob.gov.my/the-future-of-oil-palm-as-a-major-global-crop-opportunities-and-challenges/>

Nitsch, J. P. (1950). Growth and morphogenesis of strawberry as related to auxin. *American*

Journal of Botany, 37(3), 211-215. <https://doi.org/10.2307/2437903>

Nitsch, J. P. (1971). Perennation through seeds and other structure fruit development. En *Plant*

Physiology (pp. 413-501). Academic Press.

Nitsche, K., Grossmann, K., Sauerbrey, E., & Jung, J. (1985). Influence of the growth retardant

tetcyclacis on cell division and cell elongation in plants and cell cultures of sunflower, soybean, and maize. *Journal of Plant Physiology*, 118(3), 209-218.

[https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(85\)80222-4](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(85)80222-4)

Ohara, H., Izawa, J., Kimura, S., Hiroi, N., Matsui, H., Hirata, N., & Takahashi, E. (1997). Induction

of fruit set and growth of parthenocarpic «Hayward» kiwifruit with plant growth

regulators. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 66, 467-473.

<https://doi.org/10.2503/jjshs.66.467>

Opute, F. I., & Obasola, C. O. (1979). Breeding for Short-stemmed Oil Palm in Nigeria: Fatty Acids, their Significance and Characteristics. *Annals of Botany*, 43(6), 677-681.

<https://doi.org/10.2307/42761842>

Orillo, M., & Bonierbale, M. (2009). *Biología reproductiva y citogenética de la papa*. Centro Internacional de la Papa. CIP.

https://www.academia.edu/36873312/Biolog%C3%ADa_reproductiva_y_citogen%C3%A9tica_de_la_papa_Red_LatinPapa_Centro_Internacional_de_la_Papa_CIP

Ospina M., M. C., & Ligarreto M., G. A. (2000). Análisis de la calidad del polen en genotipos de papa *Solanum tuberosum* ssp. Andigena y reacción a *Phytophthora infestans* en progenies. *Agronomía Colombiana*, 17, 69-72.

<http://www.bdigital.unal.edu.co/24427/1/21588-73851-1-PB.pdf>

Pallardy, S. G. (2008). *Physiology of woody plants* (3.^a ed.). <https://doi.org/10.1016/B978-012088765-1.50001-4>

Patterson, K. J., Mason, K. A., & Gould, K. S. (1993). Effects of CPPU (N-(2-chloro-4-pyridyl)-N-phenylurea) on fruit growth, maturity and storage quality of kiwifruit, New Zealand. *Journal of Crop and Horticultural Science*, 21, 253-261.

<https://doi.org/10.1080/01140671.1993.9513777>

Pelaez R., E. E., Ramirez M., D. P., & Cayón S., G. (2010). Fisiología comparada de palmas africana (*Elaeis guineensis* Jacq.), americana (*Elaeis oleifera* hbk Cortes) e híbridos (E. *oleifera* x E. *guineensis*) en Hacienda La Cabaña. *Revista Palmas*, 31(2), 29-38.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1476/1476>

Pharis, R. P., & King, R. W. (1985). Gibberellins and reproductive development in seed plants.

Annual Review of Plant Physiology, 36, 517-568.

<https://doi.org/10.1146/annurev.pp.36.060185.002505>

Pio, L. A. S., Ramos, J. D., Pasqual, M., Junqueira, K. P., Santos, F. C., & Rufini, J. C. M. (2007).

Viabilidade do pólen de laranjas doces em diferentes condições de armazenamento.

Ciência e Agrotecnologia, 31(1), 147-153. [https://doi.org/10.1590/S1413-](https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000100022)

[70542007000100022](https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000100022)

Prada, F., & Romero, A. (2012). *Muestreo y análisis de racimos en el cultivo de la palma de aceite*.

Centro Nacional de Investigación en palma de aceite [Cenipalma].

Preciado Q., C. A., Bastidas, P. S., Betancourth, G. C., Peña R., E., & Reyes, C. R. (2011a). Predicción

y control de la cosecha en el híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* en

la zona palmera occidental de Colombia I. Determinación del período de madurez para

obtener racimos de alto contenido de aceite. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*,

12(1), 5-12. https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:210

Preciado Q., C. A., Bastidas, P. S., Betancourth, G. C., Peña R., E., & Reyes, C. R. (2011b).

Predicción y control de la cosecha en el híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis*

guineensis en la zona palmera occidental de Colombia. II. Determinación del ciclo de

cosecha para obtener racimos de alto contenido de aceite. *Corpoica Ciencia y Tecnología*

Agropecuaria, 12(1), 13-19. https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:210

Prieto, A., Ochoa, I., & Cayón, D. G. (2015). *Efecto de la aplicación de auxinas y giberelinas en la*

*formación de frutos partenocárpicos en los híbridos *Elaeis oleifera* H.B.K. Cortés x *Elaeis**

guineensis Jacq. XVIII Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite, Cartagena,

Colombia.

- Quan Yu, J. (1999). Parthenocarpy induced by N-(2-chloro-4-pyridyl)-N'-phenylurea (CPPU) prevents flower abortion in Chinese white-flowered gourd (*Lagenaria leucantha*). *Environmental and Experimental Botany*, 42(2), 121-128. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(99\)00025-8](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(99)00025-8)
- Quijada, O., Camacho, R., Rivas, J., & Fonseca, Y. (1999). *Partenocarpia del mango «Haden» en la planicie de Maracaibo*. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Zulia. http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd64/texto/mango.htm
- Rao, S. S. R., Vardhini, B. V., Sujatha, E., & Anuradha, S. (2002). Brassinosteroids—A new class of phytohormones. *Current Science*, 82(10), 1.239-1.245. <https://www.jstor.org/stable/24107046>
- Rebers, M., Kaneta, T., Kawaide, H., Yamaguchi, S., Yang, Y., Imai, R., Sekimoto, H., & Kamiya, Y. (1999). Regulation of gibberellin biosynthesis genes during flower and early fruit development of tomato. *Plant Journal*, 17, 241-250. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.1999.00366.x>
- Redshaw, M. (2012). *Utilización de los Residuos del Campo y de los Subproductos de la Planta Extractora* (Palma de aceite: manejo para rendimientos altos y sostenibles). 337-350
- Rejón, J. D., Suárez, C. G., Alché, J. D., Castro, A. J., & Rodríguez-García, M. I. (2010). Evaluación de diferentes métodos para estimar la calidad del polen en distintos cultivares de olivo (*Olea europaea* L.). *Polen*, 20, 61-72. <https://doi.org/10.14201/pol.v20i0.8921>
- Rey Bolivar, L., Ayala, I., Delgado Ayala, W., & Rocha Salavarrieta, P. J. (2003). *Colecta de material genético de la palma amaricana noli elaeis oleifera (H.B.K.) cortex en el trapecio amazónico* (N.º 101; Ceniavances, pp. 1-4). Cenipalma. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/ceniavances/article/view/10364/10354>

- Rey Bolivar, L., Gómez C., P. L., Ayala D., I., Delgado A., W., & Rocha S., P. (2004). Colecciones genéticas de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) y (*Elaeis oleifera* H.B.K.) de Cenipalma: Características de importancia en el sector palmicultor. *Revista Palmas*, 25, 39-48. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1065>
- Rincón, S. M., Hormaza, P. A., Moreno, L. P., Prada, F., Portillo, D. J., García, J. A., & Romero, H. M. (2013). Use of phenological stages of the fruits and physicochemical characteristics of the oil to determine the optimal harvest time of oil palm interspecific OxG hybrid fruits. *Industrial Crops and Products*, 49, 204-210. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.035>
- Rivera, Y. D., Cayón, D. G., & López, J. E. (2013). Physiological and morphological characterization of american oil palms (*Elaeis oleifera* HBK Cortes) and their hybrids (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) on the Indupalma plantation. *Agronomía Colombiana*, 31(3), 314-323. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/39631>
- Robinson, R., Cantliffe, D., & Shannon, S. (1971). Morphactin-induced parthenocarpy in Cucumber. *Science*, 171, 1.251-1.252. <https://doi.org/10.1126/science.171.3977.1251>
- Rocha S., P. J., Prada C., F., Rey B., L., & Ayala D., I. M. (2006). Caracterización bioquímica parcial de la colección de *Elaeis oleifera* de Cenipalma proveniente de la Amazonia colombiana. *Revista Palmas*, 27(3), 35-44. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1187>
- Rodríguez, A., Daza, E., Romero, R., & Romero, H. (2011). *Polinización asistida en palma de aceite. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: Guía para facilitadores.*
- Rodríguez Rojas, T. J., Andrade Rodríguez, M., Canul Ku, J., Castillo Gutiérrez, A., Martínez Fernández, E., & Guillén Sánchez, D. (2015). Viabilidad de polen, receptividad del estigma y tipo de polinización en cinco especies *Echeveria* en condiciones de invernadero. *Revista*

Mexicana de Ciencias Agrícolas, 6(1), 111-123.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v6i1.743>

Rodriguez-Nieto, J. A., & Mollick, A. V. (2021). The US financial crisis, market volatility, credit risk and stock returns in the Americas. *Financial Markets and Portfolio Management*, 35(2), 225-254. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s11408-020-00369-x>

Rosero Estupiñán, G., & Santacruz Arciniegas, L. (2014). Efecto de la polinización asistida en la conformación del racimo en material híbrido OxG en la plantación Guaicaramo S.A. *Revista Palmas*, 35(4), 11-19.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11028>

Rosero Estupiñán, G., Santacruz Arciniegas, L., & Carvajal, S. (2017). Influencia del destape de la inflorescencia en la polinización asistida del híbrido OxG. *Revista Palmas*, 38(1), 49-62. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12044>

Ruíz, E., Fontanilla, C., Mesa, E., Mosquera, M., Molina, D., & Rincón, A. (2015). Prácticas de manejo y costos de producción de la palma de aceite híbrido OxG en plantaciones de la Zona Oriental y Suroccidental de Colombia. *Revista Palmas*, 36(4), 11-29.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11642>

Sakata, T., & Higashitani, A. (2008). Male sterility accompanied with abnormal anther development in plants-genes and environmental stresses with special reference to high temperature injury. *International Journal of Plant Developmental Biology*, 2(1), 42-51. [http://globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/0806/IJPDB_2\(1\)/IJPDB_2\(1\)42-51o.pdf](http://globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/0806/IJPDB_2(1)/IJPDB_2(1)42-51o.pdf)

Sakata, T., Oshino, T., Miura, S., Tomabechei, M., Tsunaga, Y., Higashitani, N., Miyazawa, Y., Takahashi, H., Watanabe, M., & Higashitani, A. (2010). Auxins reverse plant male sterility

caused by high temperatures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(19), 8569-8574. <https://doi.org/10.1073/pnas.1000869107>

Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1985). *Plant Physiology* (3.^a ed.). Wadsworth Publishing Co.

Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1992). *Plant Physiology* (4.^a ed.). John Wiley & Sons.

Salles, L. A., Ramos, J. D., Pasqual, M., Junqueira, K. P., & Silva, A. B. da. (2006). Sacarose e pH na germinação in vitro de grãos de pólen de citros. *Ciência e Agrotecnologia*, 30(1), 170-174. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000100025>

Sánchez Rodríguez, Á., Daza, E. S., Ruiz Romero, R., & Romero Angulo, H. M. (2011). *Polinización asistida en palma de aceite. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: Guía para facilitadores*. Cenipalma. <http://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/107703>

Sánchez Rodríguez, L. Á., & Romero, H. M. (2013). *Viabilidad y morfología del polen de diferentes materiale de palma de aceite* (Ceniavances N.º 171). Cenipalma.

Sedgely, M., & Harbard, J. (1993). *Pollen storage and breeding systems in relation to controlled pollination of four species of Acacia (Leguminosae: Mimosoideae)*. 41, 601-609. <https://doi.org/10.1071/BT9930601>

Seop, K., Hiroshi, O., & Kunimitsu, F. (1992). *Endogenous levels of IAA in relation to parthenocarpy in cucumber (Cucumis sativus L.)*. 52(1-2), 1-8. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(92\)90002-T](https://doi.org/10.1016/0304-4238(92)90002-T)

Serna Mondragón, A., & Pinilla Betancourt, C. (2015). Aceite de palma alto oleico: Propiedades fisicoquímicas y beneficios para la salud humana. *Revista Palmas*, 36(4), 57-66. <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11645>

Shivanna, K. R. (2003). *Pollen biology and biotechnology*. Science Publishers.

- Shivanna, K. R., & Tandon, R. (2014). *Reproductive ecology of flowering plants: A manual*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2003-9>
- Sparnaaij, L. D. (1959). *The analysis of bunch production in the oil palm*. <https://edepot.wur.nl/183270>
- Sparnaaij, L. D. (1962). *10th Ann. Report. W. Afr. Inst. Oil Palm Res.*
- Stanley, R. G., & Linskens. (1974). Viability Test. En *Pollen-biology, biochemistry and management* (pp. 67-86). Springer Verlag.
- Sunil Kumar, K., Mathur, R., & SparjanBabu, D. (2011). *Efficacy of Dyes and Media on Pollen Viability and Germinability in Oil Palm (Elaeis guineensis Jacq.)*. 8(1), 9-12.
- Sunil Kumar, K., Mathur, R., SparjanBabu, D., & Reddy, A. (2013). *Pollen viability and vigour in interspecific hybrids (E. guineensis x E.oleifera) of oil palm*. 41(1), 91-94. <https://updatepublishing.com/journal/index.php/JPC/article/view/5908>
- Syafiq, M., Nur Atiqah, A. R., Ghazali, A., Asmah, S., Yahya, M. S., Aziz, N., Puan, C. L., & Azhar, B. (2016). Responses of tropical fruit bats to monoculture and polyculture farming in oil palm smallholdings. *Acta Oecologica*, 74, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2016.06.005>
- Syed, R. A. (1979). Studies on oil palm pollination by insects. *Bulletin of Entomological Research*, 69(2), 213-224. <https://doi.org/10.1017/S0007485300017673>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology* (4.^a ed.). Sinauer Associates.
- Takagi, T., Murai, H., Ueda, R., & Suzuki, T. (1994). *Effect of application of gibberellic acid and N-(2-chloropyridyl)-N'-phenylurea on the enlargement of frost-induced seedless fruit of loquat (Eriobotrya japonica Lindl.)*. 62(4), 733-739. <https://wenku.baidu.com/view/a43da6573169a4517723a3da.html>

- Talanova, V., Akimova, T., & Titov, A. (2003). Effect of whole plant and local heating on the ABA content in cucumber seedling leaves and roots and on their heat tolerance. *Russian Journal of Plant Physiology*, 50, 90-94. <https://doi.org/10.1023/A:1021996703940>
- Talón, M., Hedden, P., & Primo-Millo, E. (1990). Gibberellins in *Citrus sinensis*: A comparison between seeded and seedless varieties. *Journal of Plant Growth Regulation*, 9(4), 201-206. <https://doi.org/10.1007/BF02041963>
- Tam, T. K. (1981). Investigations into fruit-set capacities of the *Elaeis oleifera* under controlled pollination conditions and germination requirements of the *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* (pisifera) hybrid. *The Planter*, 57, 444-451.
- Tan, Y. P. (1985). *Weevil pollination in the Elaeis oleifera x Elaeis guineensis hybrid*. 34-40.
- Tandon, R., Manohara, T., Nijalingappa, B., & Shivanna, K. (2001). Pollination and Pollen-pistil interaction in Oil palm, *Elaeis guineensis*. *Annals of Botany*, 87(6), 831-838. <https://www.jstor.org/stable/42771002>
- Taylor, L. P., & Hepler, P. K. (1997). *Pollen germination and tube growth*. 48(1), 461-491. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.48.1.461>
- Thomas, R. L., Seth, A. K., Chan, K. W., & Ooi, S. C. (1973). Induced Parthenocarpy in the oil palm. *Annals of Botany*, 37(151), 447-452. <https://www.jstor.org/stable/42759421>
- Tiwari, A., Remko, O., & Heuvelink, P. (2012). *Auxin-induced Fruit Set in Capsicum annum L. Requires Downstream Gibberellin Biosynthesis*. 31, 570-578. <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9267-7>
- Torres, G. A., Sarria, G. A., Varon, F., Coffey, M. D., Elliot, M., & Martinez, G. (2010). First report of bud rot caused by *Phytophthora palmivora* on African oil palm in Colombia. *Plant Disease*, 94, 1.163. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-9-1163A>

- Turner, P. D., & Gillbanks, R. A. (1974). Oil palm cultivation and management. En *The Incorporated Society of Planters*. Kuala Lumpur.
- Uhl, C. H. (1982). The problem of ploidy in echeveria (Crassulaceae). II. tetraploidy. *American Journal of Botany*, 69(9), 1497-1511. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1982.tb13399.x>
- Vardi, A., Levin, I., & Carmi, N. (2008). Induction of seedlessness in Citrus: From classical techniques to emerging biotechnological approaches. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133(1), 117-126. <https://doi.org/10.21273/JASHS.133.1.117>
- Vardi, A., Neumann, H., Frydman-Shani, A., Yaniv, Y., & Spiegel-Roy, P. (2000). Tentative model on the inheritance of juvenility, self-incompatibility and parthenocarpy. *Acta Horticulturae*, 535, 199-205. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.535.24>
- Wan, C. K. (1987). *Development of parthenocarpic fruits in oil palm (Elaeis guineensis Jacq.) due to application of herbicides*. 63(732), 90-95.
- Wassmann, R., Jagadish, S. V. K., Sumfleth, K., Pathak, H., Howell, G., Ismail, A., Serraj, R., Redona, E., Singh, R. K., & Heuer, S. (2009a). *Regional Vulnerability of Climate Change Impacts on Asian Rice Production and Scope for Adaptation*. 102, 91-133. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(09\)01003-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01003-7)
- Wassmann, R., Jagadish, S. V. K., Sumfleth, K., Pathak, H., Howell, G., Ismail, A., Serraj, R., Redona, E., Singh, R. K., & Heuer, S. (2009b). *Regional Vulnerability of Climate Change Impacts on Asian Rice Production and Scope for Adaptation*. *Advances in Agronomy*, 102, 91-133. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(09\)01003-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01003-7)
- Yamaguchi, S. (2008). Gibberellin metabolism and its regulation. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 225-251. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092804>

Yáñez, E., García, J., & Amaya, S. (2000). Metodología alterna para el análisis de racimos de palma de aceite. *Revista Palmas*, 21(1), 295-303.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/798>

Yáñez, E., García, J., Fernández, C., & Rueda, C. (2006). *Guía de análisis de racimo*. Cenipalma.

Zambrano R., J. E. (2004). Híbridos interespecíficos *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*. Una alternativa de renovación para la zona oriental de Colombia. *Revista Palmas*, 25, 339-349.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1098>

4. Conclusiones y recomendaciones

En los materiales híbridos *OxG* se conoce mucho más sobre fenología de las inflorescencias, características del polen y fisiología de la polinización que sobre las respuestas de los *OxG* a la polinización con hormonas y las repercusiones (influencias) en la formación, crecimiento y desarrollo de los racimos. Por estas razones, los efectos fisiológicos y las posibilidades de uso comercial de las hormonas ANA y AG₃ fueron los objetivos importantes de esta investigación y permiten hacer las conclusiones siguientes:

- Las relaciones y diferencias funcionales entre viabilidad y germinación del polen estudiadas, comprobaron la necesidad de realizar estas pruebas de laboratorio antes de su uso en la polinización asistida.
- Frente a los diversos criterios existentes en las plantaciones sobre las dosis de polen utilizadas, se demostró que 0,10 g/inflorescencia es suficiente para obtener producción de racimos y rendimiento de aceite/ha aceptables comercialmente.
- Teniendo en cuenta que en la literatura científica mundial no existen artículos publicados sobre el uso de hormonas en la polinización de los híbridos *OxG*, el aporte de esta investigación es pionero y promisorio para el sector palmicultor, al demostrar el efecto de ANA y AG₃ en la inducción y desarrollo de **FP** y **FN** en los racimos de híbridos *OxG*, lo cual contribuirá a mejorar la producción de RFF y el rendimiento de aceite/ha en las plantaciones.
- Se generaron los conocimientos básicos para desarrollar la técnica de aplicación de ANA y AG₃ en las plantaciones de híbridos como complemento de la polinización asistida y no sustitutiva de esta.
- La aplicación de hormonas exige una supervisión estricta y permanente para garantizar que la labor se realice con los estándares satisfactorios y produzca los beneficios esperados.
- Desde el punto de vista operacional, la aplicación de ANA y AG₃ en medio líquido no es conveniente debido al peso de la solución en la bomba de espalda, lo cual disminuye el

rendimiento de los operarios, comparado con la aplicación tradicional de la mezcla sólida polen + talco.

- Por esto, se recomienda iniciar experimentos con mezclas de polen y formulaciones en polvo de estas hormonas para aliviar la carga y mejorar el rendimiento de los operarios en la polinización.

En conclusión, se abrió un panorama amplio de investigación para comprender cómo las hormonas influyen y ayudan en la polinización de los híbridos *OxG*, y para desarrollar nuevas tecnologías de manejo de esos compuestos químicos en las plantaciones.

A. Anexos: Análisis de suelos del lote experimental (bloque 332 parcela 5.6) en la plantación “Guaicaramo” (Barranca de Upía, Meta).

Profundidad	0-5	5-10	10-20	20-30	Promedio
Textura	FArA	FArA	FArA	FArA	FArA
Arena (%)	58,9	61,9	62,9	57,9	60,4
Limo (%)	13,1	17,1	16,1	19,1	15,9
Arcilla (%)	28,0	21,0	21,0	23,0	23,7
pH	4,9	4,6	4,6	4,6	4,7
Acidez intercambiable cmol(+)/kg	0,74	1,33	1,68	1,68	1,25
C.I.C. cmol(+)/kg	13,6	12,0	11,5	12,6	12,3
Carbono orgánico (%)	2,6	1,5	1,2	0,4	1,6
Materia orgánica (%)	4,5	2,6	2,1	0,8	2,8
Potasio (cmol(+)/kg)	0,32	0,21	0,12	0,08	0,21
Calcio (cmol(+)/kg)	1,88	0,85	0,46	0,25	1,03
Magnesio (cmol(+)/kg)	0,53	0,25	0,13	0,07	0,29
Sodio (cmol(+)/kg)	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03
Fósforo (mg kg ⁻¹)	13,8	6,9	2,8	2,9	7,9
Azufre (mg kg ⁻¹)	5,0	4,8	5,6	8,3	5,6
Boro (mg kg ⁻¹)	0,59	0,61	0,50	0,56	0,58
Hierro (mg kg ⁻¹)	90,1	72,3	46,9	24,0	65,9
Cobre (mg kg ⁻¹)	0,17	0,24	0,34	0,25	0,23
Manganeso (mg kg ⁻¹)	14,7	3,9	1,6	1,2	6,7
Zinc (mg kg ⁻¹)	0,38	0,20	0,16	0,12	0,24
CICE	3,3	2,5	2,2	1,9	2,6
Suma Bases	2,76	1,34	0,74	0,42	1,56
Saturación Bases	83,13	53,82	33,64	22,11	54,94
Saturación K	9,64	8,43	5,45	4,21	7,63
Saturación Ca	56,63	34,14	20,91	13,16	35,93
Saturación Mg	15,96	10,04	5,91	3,68	10,27
Saturación Na	0,90	1,20	1,36	1,05	1,11
Saturación Al	16,87	46,18	66,36	77,89	45,06
Ca:Mg	3,55	3,40	3,54	3,57	3,50
K:Mg	0,60	0,84	0,92	1,14	0,83
(Ca+Mg)/K	7,53	5,24	4,92	4,00	5,74

B. Anexo: Condiciones climáticas en la plantación “Guaicaramo” (Barranca de Upía, Meta) durante el periodo experimental (enero 2016 y julio 2017).

Año	Mes	Precipitación (mm)	Temperatura			Brillo Solar (h)	HR (%)
			Máxima	Media	Mínima		
2016	Enero	0	34,7	29,6	21,6	234,9	64,1
2016	Febrero	1	35,5	30,0	23,2	143,8	64,8
2016	Marzo	108	34,2	29,3	23,7	135,8	71,0
2016	Abril	550	31,3	27,3	23,5	106,7	82,9
2016	Mayo	435	30,8	26,6	23,1	113,9	84,0
2016	Junio	254	29,6	25,8	22,5	109,8	85,5
2016	Julio	225	29,5	25,3	22,2	85,5	85,7
2016	Agosto	121	31,1	27,1	22,7	180,2	79,6
2016	Septiembre	330	31,8	27,1	22,5	190,0	79,2
2016	Octubre	365	31,2	26,7	23,0	172,3	83,1
2016	Noviembre	259	31,2	27,1	23,0	133,6	83,6
2016	Diciembre	65	31,7	27,4	22,1	193,9	76,0
2017	Enero	37	32,0	27,2	21,9	150,4	75,8
2017	Febrero	46	33,6	28,2	22,3	189,8	70,4
2017	Marzo	220	32,1	27,3	22,6	129,4	78,1
2017	Abril	188	35,9	26,9	21,6	-	79,0
2017	Mayo	277	37,3	26,9	21,1	-	81,0
2017	Junio	360	36,6	26,5	21,4	-	84,0
2017	Julio	111	34,5	25,2	21,3	-	80,0
Promedio		208	32,9	27,2	22,4	151,3	78,3

C Anexo: Análisis de suelos del lote experimental (lote 13, finca Yalconia) en la plantación “Campoalegre” (Paratebueno, Cundinamarca).

Profundidad	0-20
Textura	F
Arena (%)	43,5
Limo (%)	37,3
Arcilla (%)	19,2
pH	4,4
Acidez intercambiable cmol(+)/kg	1,44
Aluminio intercambiable cmol(+)/kg	1,25
C.I.C. mol(+)/kg	4,4
Conductividad eléctrica (dS/m)	0,093
Carbono Orgánico (%)	1,2
Materia Orgánica (%)	2,1
Potasio cmol(+)/kg	0,13
Calcio cmol(+)/kg	0,66
Magnesio cmol(+)/kg	0,17
Sodio cmol(+)/kg	0,03
Fósforo (mg/kg) (mg kg ⁻¹)	5,6
Azufre (mg/kg) (mg kg ⁻¹)	10,6
Boro (mg/kg) (mg kg ⁻¹)	0,35
Hierro (mg/kg) (mg kg ⁻¹)	147,0
Cobre (mg/kg) (mg kg ⁻¹)	0,56
Manganeso (mg/kg) (mg kg ⁻¹)	11,8
Zinc (mg/kg) (mg kg ⁻¹)	0,79
CICE	3,3
Suma Bases	0,99
Saturación Bases	44,3
Saturación K	5,81
Saturación Ca	29,50
Saturación Mg	7,60
Saturación Na	1,34
Saturación Al	55,75
Ca:Mg	3,88
K:Mg	0,77
(Ca+Mg)/K	3,39

D. Anexo: Condiciones climáticas durante el periodo experimental en la plantación “Campoalegre” (Paratebueno, Cundinamarca) (diciembre 2016 y noviembre 2017).

Año	Mes	Precipitación (mm)	Temperatura			Brillo Solar (h)	HR (%)
			Máxima	Media	Mínima		
2016	Diciembre	55,5	24,67	24,22	23,78	212,41	76,44
2017	Enero	109,5	24,70	24,25	23,80	198,97	64,8
2017	Febrero	60,7	25,78	25,27	24,77	218,24	58,8
2017	Marzo	185	24,73	24,32	23,92	187,05	64,7
2017	Abril	369	24,72	24,31	23,92	185,98	68,4
2017	Mayo	507,2	24,44	24,07	23,69	192,89	70,2
2017	Junio	175	23,89	23,55	23,21	182,84	69,7
2017	Julio	111,6	23,09	22,76	22,42	153,67	72,7
2017	Agosto	178,5	24,55	24,13	23,71	190,92	71,2
2017	Septiembre	236,5	24,80	24,38	23,96	219,09	69,8
2017	Octubre	341,7	24,54	24,13	23,72	209,31	70,0
2017	Noviembre	164	25,15	24,72	24,34	225,05	65,7