



Generalidades sobre la morfología y fenología de la palma de aceite

Editor científico

Hernán Mauricio Romero Angulo

Autores

Diana Carolina Forero Hernández

Paola Andrea Hormaza Martínez

Leidy Paola Moreno Caicedo

Rodrigo Ruíz Romero

Generalidades sobre la morfología y fenología de la palma de aceite

Generalidades sobre la morfología y fenología de la palma de aceite

Publicación del Centro de Investigación
en Palma de Aceite (Cenipalma)
Financiada por Fedepalma-Fondo de Fomento
Palmero y al Departamento Administrativo
de Ciencia, Tecnología e Innovación,
Colciencias, (Contrato 426-2007)

Director Ejecutivo

José Ignacio Sanz Scovino

Editor Científico

Hernán Mauricio Romero Angulo
Profesor Asociado Universidad
Nacional de Colombia

Autores

Diana Carolina Forero Hernández
Paola Andrea Hormaza Martínez
Leidy Paola Moreno Caicedo
Rodrigo Ruiz Romero

Coordinación Editorial

Yolanda Moreno Muñoz
Esteban Mantilla

Diseño y diagramación

Área 51 Publicidad y Comunicaciones S.A.S.

Ilustraciones

Ximena Díaz Ortiz

ISBN

978-958-8360-40-9

Bogotá D.C., Colombia
Noviembre de 2012



Centro de Investigación en Palma de Aceite
Calle 20 A # 43 A-50, piso 4
PBX: (57-1) 208 63 00 Fax: (57-1) 244 4711
www.cenipalma.org

Contenido

Presentación	15
Introducción	17
CAPÍTULO 1	
Clasificación y morfología de la palma de aceite	19
Clasificación	21
Crecimiento y desarrollo	21
Morfología de la palma de aceite	23
La semilla	24
La hoja	26
El estípite	29
Las raíces	31
Anatomía de la raíz	33
Las flores e inflorescencias	33
Estructuras de las inflorescencias femeninas y masculinas	39
El racimo y el fruto	48
Maduración de frutos y racimos	52
Características de la escala fenológica BBCH extendida para la palma de aceite	53
Bibliografía	56
CAPÍTULO 2. Escala BBCH para la descripción del desarrollo vegetativo de <i>Elaeis guineensis</i> Jacq., <i>Elaeis oleifera</i> y el híbrido interespecífico OxG	61
Estadio de crecimiento principal 0: Germinación y emergencia	63
Estadio de crecimiento principal 1: Desarrollo de la hoja en vivero y en campo	66
Estadio de crecimiento principal 3: Elongación del estípite	69
Estadio principal de crecimiento 9: Senescencia	70
Bibliografía	71
CAPÍTULO 3. Escala BBCH para la descripción del desarrollo reproductivo de <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	73
Estadio principal de crecimiento 5: Emergencia de la inflorescencia	75

Estadio principal de crecimiento 6: Floración	78
Estadio principal de crecimiento 7: Desarrollo del fruto	84
Estadio principal de crecimiento 8: Maduración del fruto y del racimo	87
Bibliografía	89
CAPÍTULO 4. Escala BBCH para la descripción del desarrollo reproductivo de <i>Elaeis oleifera</i> Cortes H.B.K.	91
Estadio principal de crecimiento 5: Emergencia de la inflorescencia	94
Estadio principal de crecimiento 6: Floración de inflorescencias femeninas	96
Estadio principal de crecimiento 7: Crecimiento y desarrollo del racimo y fruto de palma de aceite <i>E. oleifera</i>	99
Estadio principal de crecimiento 8: Maduración del fruto	101
Bibliografía	103
CAPÍTULO 5. Escala BBCH para la descripción del desarrollo reproductivo del híbrido OxG	105
Estadio principal de crecimiento 5: Emergencia de la inflorescencia	108
Estadio principal de crecimiento 6: Floración	110
Estadio principal de crecimiento 7: Desarrollo del fruto	114
Estadio principal de crecimiento 8: Maduración del fruto y del racimo	116
Bibliografía	120
CAPÍTULO 6. Aplicaciones de la fenología y la utilización de la escala BBCH en la producción comercial de palma de aceite	121
¿Qué es la fenología?	123
La fenología y su relación con las condiciones ambientales	124
Utilización de la escala BBCH en el establecimiento de indicadores de cosecha en el híbrido OxG	126
Bibliografía	128
CAPÍTULO 7. Escala BBCH extendida para la descripción de los estadios fenológicos de <i>Elaeis guineensis</i> y el híbrido interespecífico (OxG)	131
Agradecimientos	147
Glosario	149

Índice de figuras

Figura 1.	Fases de desarrollo de la palma de aceite, adaptado de Tomlinson (1990).	22
Figura 2.	Semilla de palma de aceite a) semilla seca, b) almendra, c) endospermo y embrión d) embrión aislado y e) esquema de la parte interna de la semilla.	24
Figura 3.	Forma de las hojas en palma de aceite a) hoja lanceolada, b) hoja bífida, c) rasgado de la hoja, d) foliolos reduplicados, e) hoja madura.	26
Figura 4.	Partes de una hoja madura de palma africana.	27
Figura 5.	Filotaxia de la palma de aceite de derecha a izquierda. Fotos: D. Forero (2012). Ubicación: Guaicaramo S.A.	28
Figura 6.	Filotaxia de la palma de aceite: a) derecha, b) izquierda. Fotos: D. Forero (2012). Ubicación: Guaicaramo S.A.	28
Figura 7.	Bases peciolares persistentes en el estípite en una palma adulta. Foto: R. Ospitia (2007).	29
Figura 8.	Estípite de palmas adultas sin bases peciolares. Fotos: P. Hormaza (2010). Ubicación: Guaicaramo S.A.	30
Figura 9.	Bulbo radicular de una palma adulta.	30
Figura 10.	Raíces de la palma de aceite en la fase juvenil Rad (radícula) y Adv (raíces primarias adventicias). Ubicación: Unipalma S.A.	31
Figura 11.	Esquema de la arquitectura de las raíces en palma de aceite de ocho años de siembra, adaptado de: (Jourdan & Hervé, 1997).	32
Figura 12.	Inflorescencias femeninas en antesis de <i>Elaeis guineensis</i> (a) y el híbrido interespecífico OxG (b). Fotos: P. Hormaza, (2010). Ubicación: Guaicaramo S.A.	34
Figura 13.	Inflorescencias masculinas en antesis de <i>Elaeis guineensis</i> (a) y el híbrido interespecífico OxG (b). Fotos: A. Sánchez (2010). Ubicación: Palmar de La Vizcaína.	35
Figura 14.	Inflorescencias andromorfos del híbrido interespecífico OxG. Fotos: P. Hormaza (2009). Ubicación: Guaicaramo S.A.	35

Figura 15. Modelo propuesto por (Beule <i>et al.</i> , 2011) de los posibles modos de interacción de los factores que afectan la determinación sexual en palma de aceite.	37
Figura 16. Etapas de desarrollo de las inflorescencias y racimo en <i>E. guineensis</i> y el híbrido interespecífico. Diagrama basado en las figuras de Adam <i>et al.</i> (2005).	38
Figura 17. Partes de la inflorescencia femenina en palma de aceite en antesis a) <i>Elaeis guineensis</i> y b) híbrido interespecífico OxG, raq (raquis), pe (pedúnculo), rql (raquilla) c) corte transversal de una inflorescencia femenina pf (prófilo) y bp (bráctea peduncular) Fotos: P. Hormaza, 2010.	40
Figura 18. Partes de la inflorescencia masculina de <i>E. guineensis</i> . pe (peciolo), rql (raquilla) Fotos: R. Ospitia (2007).	40
Figura 19. Sistema de ramificación de la inflorescencia femenina de <i>Elaeis guineensis</i> . Diagramas adaptados de (Dransfield & Uhl, 2008).	41
Figura 20. Partes de la inflorescencia femenina de palma de aceite: ov (ovario tricarpetal), est (estigmas), pet (pétalos), sep (sépalos), bra (bráctea floral). Diagrama floral (Van Heel <i>et al.</i> , 1987).	41
Figura 21. Partes de la inflorescencia masculina de palma de aceite, a) raquilla mostrando disposición de flores masculinas, b) partes de la flor masculina est (estambres), ant (anteras), gin (gineceo atrofiado). Fotos: P. Hormaza (2010).	42
Figura 22. a) Flor femenina en antesis. est (estigma), estl (estilo), ov (ovario), b) flor masculina en antesis. Fotos: D. Forero (2012) y A. Sánchez (2009).	43
Figura 23. Grano de polen mostrando surco de tres brazos en <i>Baccharis concinna</i> (SEM x 1000. Krukoff 6497) y superficie perforada de un grano de polen de <i>Rhopalobia ste augusta</i> (SEM x 8000. Furtado 30946). Fotografías tomadas de (Network European of Palm Scientists, 2012).	44
Figura 24. Etapas claves en el proceso de polinización asistida en palma de aceite (Adaptado de Sánchez <i>et al.</i> , 2011).	46
Figura 25. Apariencia de la flor femenina 24 horas después de la antesis. Foto: P. Hormaza (2010).	47
Figura 26. Granos de polen de la especie <i>Elaeis guineensis</i> a) sin germinar, b) germinados en donde se observa el tubo polínico. Fotos: P. Hormaza (2010).	47

Figura 27. Ovario ortótropo.	48
Figura 28. Partes del fruto. a) Apariencia externa de un fruto en desarrollo y (b) corte transversal del fruto con sus partes.	49
Figura 29. Clasificación de frutos según la pigmentación del exocarpio, se observa la coloración del fruto inmaduro y maduro a) frutos virescens especie <i>E. oleifera</i> , b) híbrido interespecífico OxG, frutos inmaduros de coloración verde claro o intenso y frutos maduros de coloración amarillo intenso a naranja intenso, c) frutos nigrescens de la especie <i>E. guineensis</i> , frutos inmaduros de color negro rojizo y frutos maduros de coloración vinotinto o rojo muy oscuro. Fotos: P. Hormaza (2010).	49
Figura 30. Clasificación del fruto por el grosor del endocarpio o cuesco a) <i>Dura</i> , b) <i>Tenera</i> y c) <i>Piscifera</i> .	50
Figura 31. Progreso de maduración de los frutos en la raquila y clasificación de los frutos de acuerdo con su posición a) Raquila del híbrido interespecífico OxG cuya maduración de los frutos es de forma acropétala b) Raquila de <i>E. guineensis</i> maduración de los frutos de forma basipétala. Fotos: Hormaza, 2010.	52
Figura 32. Representación gráfica de la estructura general de la escala BBCH, en ella se aprecian las etapas principales de crecimiento (<i>principal growth stages</i>), mesoestadios (<i>mesostages</i>) y las etapas de crecimiento secundario (<i>secondary growth stages</i>) tomado de Meier <i>et al.</i> , (2009).	55
Figura 33. Estructura de la escala de tres dígitos. Apertura del 50 % de los foliolos superiores de la hoja flecha, los foliolos de la parte baja de la hoja aún se encuentran plegados. Foto: S. Lozano (2009).	56
Figura 34. Estadio 000. a) semilla seca material <i>Tenera</i> (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.). Foto: Fedepalma, CD-ROM interactivo. El cultivo de la palma de aceite: guía general para el nuevo palmicultor, b) semilla seca del híbrido (<i>Elaeis oleifera</i> x <i>Elaeis guineensis</i>). Fotos: L. Chan (2010).	63
Figura 35. Estadio 001 o semilla en punto blanco mostrando cu (cuesco), em (embrión) y tf (tapón de fibra) (opérculo) en el híbrido interespecífico OxG. Fotos: L. Chan (2010).	64

Figura 36. Estadio 004. Inicio de la diferenciación de la plúmula (pl) y la radícula (ra) del híbrido OxG. Foto: P. Hormaza (2010).	65
Figura 37. Estadio 005. Formación de raíces adventicias (adv) en el híbrido interespecífico OxG. Fotos: Hormaza y Chan (2010). Ubicación: Unipalma S.A.	65
Figura 38. Estadio 009. Emergencia (li) lígula, (I) primera hoja plumular, (II) segunda hoja plumular. Fotos: P. Hormaza (2010). Ubicación: Unipalma S.A.	66
Figura 39. Estadios 100, 101 y 102 del desarrollo de las hojas en vivero. a) hojas plumulares completamente visibles (I y II) Foto: L. Moreno (2010), b) apertura de la primera hoja lanceolada simple (estadio 101). Foto: P. Hormaza (2010), c) plántula de palma de aceite de dos meses de edad mostrando dos hojas lanceoladas simples totalmente extendidas (estadio 102). Fotos: D. Forero (2012). Ubicación: Unipalma S.A. y Guaicaramo S.A.	66
Figura 40. Estadios 129 y 130. a) aparición de hojas bifurcadas o bífidas (bf), estadio 129. b) formación de los primeros foliolos (f) en la base de la hoja 12. Fotos: C. Bayona y D. Forero (2012). Ubicación: Guaicaramo S.A.	67
Figura 41. Estadios 140 y 143. Aparición de la hoja flecha (fl) en estadio de vivero (estadio 140). Hoja 18 completamente pinnada y hoja flecha con 30 % de apertura (estadio 143). Fotos: R. Ruiz (2009). Ubicación: Palmar de la Vizcaína y Guaicaramo S.A.	67
Figura 42. Estadio 150. Detalle de una hoja flecha en palma de aceite (estadio 150). Foto: S. Lozano (2009).	68
Figura 43. Estadios 153, 155 y 159. a) hoja con un 30 % de apertura (estadio 153). b) hoja 18 completamente pinnada y hoja flecha con 50 % de apertura (estadio 155). c) Hojas con un 75 % de apertura (estadio 159). Fotos: S. Lozano (2009).	69
Figura 44. Estadio 305. Bases peciolares persistentes en el estípite en: a) híbrido interespecífico OxG y b) <i>Elaeis guineensis</i> . Fotos: L. Moreno (2011).	70
Figura 45. Estadio 309. Estípite de palmas maduras sin bases peciolares. a) <i>Elaeis guineensis</i> , b) <i>Elaeis oleifera</i> , c) híbrido interespecífico OxG, d) cicatrices de las bases peciolares (bp)	

	y entrenudos (ent) del estípite. Fotos: L. Morero (2012), P. Hormaza (2010) y R. Ospitia (2007).	70
Figura 46.	Estadio 500. Inflorescencia no visible. Foto: P. Hormaza (2010).	75
Figura 47.	Estadio 501. Estructura floral cerrada. Se observa el prófalo (pf) fusionado con la bráctea peduncular. Foto: P. Hormaza (2010).	76
Figura 48.	Estadio 503. a) emergencia de la inflorescencia en un 30 %, b) brácteas que protegen la inflorescencia (pf) prófalo y (bp) bráctea peduncular, c) las raquilas están completamente cerradas, erectas y de coloración marrón intenso. Fotos: P. Hormaza (2010).	77
Figura 49.	Estadio 505. Emergencia del 50 % de la inflorescencia femenina. Foto: P. Hormaza (2010).	77
Figura 50.	Estadio 509. Emergencia del 90 % de la inflorescencia femenina. Foto: P. Hormaza (2010).	78
Figura 51.	Estadio 601. Inflorescencias femeninas en preantesis I. a) inflorescencia de <i>Elaeis guineensis</i> , b) estructura interna de la inflorescencia, c) detalle del botón floral en preantesis I. Fotos: J. Camperos (2009); P. Hormaza (2010) y D. Forero (2012).	78
Figura 52.	Estadio 602. Inflorescencia femenina de <i>Elaeis guineensis</i> en preantesis II. Fotos: P. Hormaza y A. Sánchez. (2010).	79
Figura 53.	Estadio 602. Inflorescencia masculina en preantesis II. Foto: R. Ruiz (2010).	79
Figura 54.	Estadio 603. Inflorescencia femenina en preantesis III. Fotos: P. Hormaza; A. Sánchez (2010).	80
Figura 55.	Estadio 603. Inflorescencia masculina en preantesis III. Foto: R. Ruiz (2009).	81
Figura 56.	Estadio 607. Inflorescencia femenina de <i>Elaeis guineensis</i> en antesis. Fotos: P. Hormaza; A. Sánchez (2010).	81
Figura 57.	Estadio 607. Inflorescencia masculina en preantesis III. Foto: M. Monroy (2010).	82
Figura 58.	Formación de antocianinas después de la polinización (estadio 609). Foto: A Sánchez (2010).	83
Figura 59.	Estadio 609. Inflorescencia masculina en el estadio de fin de la floración. Foto: J. Camperos (2009).	84

Figura 60. Curva de crecimiento de fruto en semanas después de la antesis. <i>Elaeis guineensis</i> . Fuente: Cenipalma.	85
Figura 61. Estadios fenológicos para el desarrollo del racimo y fruto en <i>Elaeis guineensis</i> . Fotos: P. Hormaza y L. Moreno (2010).	86
Figura 62. Estadios fenológicos para la maduración del racimo y fruto en <i>Elaeis guineensis</i> . Fotos: P. Hormaza y L. Moreno (2010).	88
Figura 63. Estadio 501. Foto: L. Chan (2011).	94
Figura 64. Estadio 503. Foto: L. Chan (2011).	95
Figura 65. Estadio 505. Foto: L. Moreno (2011).	95
Figura 66. Estadio 509. Foto: L. Moreno (2011).	96
Figura 67. Estadio 601. Apariencia externa e interna de inflorescencias. Fotos: L. Chan y L. Moreno (2011).	97
Figura 68. Estadio 602. Apariencia externa e interna de inflorescencias. Foto: L. Chan y L. Moreno (2011).	97
Figura 69. Estadio 603. Apariencia externa e interna de inflorescencias. Fotos: L. Moreno (2011).	98
Figura 70. Estadio 607. Apariencia externa e interna de inflorescencias. Fotos: L. Chan y L. Moreno (2011).	98
Figura 71. Estadio 609. Apariencia externa e interna de inflorescencias. Fotos: L. Chan; L. Moreno (2011).	99
Figura 72. Estadio 700. Foto: L. Moreno, (2011).	99
Figura 73. Estadios 701 y 703, iniciales de crecimiento del fruto y del racimo. a) Estadio 701, b) Estadio 703. Fotos: L. Moreno (2011).	100
Figura 74. Estadio 709, crecimiento del fruto. Foto: L. Moreno (2011).	100
Figura 75. Estadios 800 (a) y 803 (b). Estadios iniciales de cambio de coloración del fruto. Fotos: L. Moreno (2011).	101
Figura 76. Estadios 805 (a) y 807 (b). Estadios de madurez del fruto. Fotos: L. Moreno (2011).	102
Figura 77. Estadio 809. a) racimo, b) frutos en la raquila. Fotos: L. Moreno (2011).	102
Figura 78. Estadio 501. Estructura floral cerrada. Se observan el prófalo (pf) fusionado con la bráctea peduncular. Foto: P. Hormaza (2010).	108

Figura 79. Estadio 503. Emergencia de la inflorescencia en un 30 %. Foto: P. Hormaza (2010).	109
Figura 80. Estadio 505. Emergencia del 50 % del eje de la inflorescencia. El prófalo empieza a fragmentarse. Fotos: P. Hormaza (2010).	109
Figura 81. Estadio 509. Emergencia del 90 % del eje de la inflorescencia. El prófalo se ha rasgado y se observan vestigios de éste. Fotos: P. Hormaza (2010).	109
Figura 82. Estadio 601 (a, b y c). Inflorescencias femeninas en preantesis I (d y e) Inflorescencias masculinas en preantesis I del híbrido interespecífico OxG. Fotos: P. Hormaza (2010).	110
Figura 83. Estadio 602. Inflorescencia femenina en preantesis II del híbrido interespecífico OxG. Fotos: P. Hormaza (2010).	111
Figura 84. Estadio 603. Inflorescencia femenina en el estadio de preantesis III. Híbrido interespecífico OxG. Fotos: P. Hormaza (2010).	111
Figura 85. Estadio 607. Inflorescencia femenina del híbrido interespecífico OxG en antesis. Fotos: P. Hormaza (2010).	112
Figura 86. Asincronía en la inflorescencia en el material híbrido interespecífico OxG. a) Flores con apertura de lóbulos estigmáticos asincrónicos, b) crecimiento y desarrollo heterogéneo de frutos en el racimo. PA-II (preantesis II). Fotos: L. Moreno; P. Hormaza (2010).	113
Figura 87. Variaciones de color en los lóbulos del estigma en el híbrido interespecífico OxG.	113
Figura 88. Estadios fenológicos para el desarrollo del fruto en el híbrido interespecífico OxG. Fotos: P. Hormaza y L. Moreno (2010).	116
Figura 89. Estadios fenológicos para la maduración del fruto en el híbrido interespecífico OxG. Fotos: P. Hormaza y L. Moreno (2010).	119
Figura 90. Influencia de las variables climáticas sobre la fenología.	126

Índice de tablas

Tabla 1.	Constitución de las inflorescencias de la especie <i>Elaeis guineensis</i> y el híbrido interespecífico OxG. En palma de cinco años de edad, en la Zona Oriental colombiana. n=20 palmas híbrido: 63 palmas <i>E. guineensis</i> .	42
Tabla 2.	Estudio comparativo de la viabilidad del polen del híbrido y sus progenitores.	45
Tabla 3.	Clasificación de frutos de acuerdo con la coloración del exocarpio y el grosor del cuesco.	50
Tabla 4.	Cuadro resumen de estadios de emergencia y desarrollo floral de <i>Elaeis guineensis</i> (material IRHO) en la Zona Central.	83
Tabla 5.	Descripción del porcentaje de crecimiento y rango de días aproximado de desarrollo de fruto en <i>Elaeis guineensis</i> .	86

Presentación

Este libro atiende la necesidad de un compendio sistematizado de las fases fenológicas de la palma de aceite y es el producto de tres años de observaciones meticulosas sobre los cambios que se dan en los diferentes órganos de la palma, desde la germinación hasta la formación y el desarrollo del fruto. Las observaciones se estandarizaron con base en la escala fenológica BBCH¹, con la que la descripción de fenómenos y procesos relacionados con el cultivo es más precisa y entendible.

Las plantas no son organismos estáticos. Constantemente están cambiando como parte de sus procesos normales de crecimiento y desarrollo. Así, van desde semilla a plántula, tienen ciclos de crecimiento vegetativo que siguen de la fase reproductiva que incluye floración, fructificación y formación de semillas, con las cuales se inicia un nuevo ciclo. En plantas perennes como la palma de aceite es posible identificar en qué estadio preciso de desarrollo está una inflorescencia o un racimo o hacer el seguimiento al desarrollo de una hoja desde su aparición como flecha hasta la senescencia. La duración de cada uno de los estadios fenológicos está fuertemente influenciada por el clima, el cual determina los ciclos básicos del desarrollo de la planta.

Además, es interesante ver que las características externas de las fases fenológicas del desarrollo de una planta están relacionadas con cambios en la fisiología, que no sólo determinan la fase fenológica del individuo sino que también afectan el desarrollo, el metabolismo y la supervivencia de los animales y los microorganismos asociados a la planta, tanto benéficos como patógenos.

De esta forma, se entrega una herramienta que puede ser usada para describir los estadios de desarrollo de la palma o sus órganos, no en función de la edad sino del estado fenológico de éstos. Además, puede ayudar al establecimiento de las relaciones precisas entre el estadio fenológico de la palma y su susceptibilidad o predispo-

¹ Escala binaria para la referenciación de etapas fenológicas de especies vegetales.

sición al ataque de plagas y enfermedades. Como dice Leather², “el entendimiento completo de las plagas y enfermedades y el estado fenológico de los cultivos es esencial para desarrollar una estrategia efectiva conducente a la agricultura global sostenible” y, en este caso, a la palmicultura sostenible.

Por ejemplo, las observaciones de técnicos e investigadores han mostrado que la palma de aceite no se enferma de la Marchitez letal (ML) sino cuando entra en fase reproductiva. Debe existir alguna condición fisiológica de la palma que cambia entre el estado vegetativo y el reproductivo, y que predispone a la palma a enfermarse. Así mismo, las flores de palma cuando son polinizadas cambian su aspecto externo, de tal manera que se puede identificar cuándo la polinización asistida ha sido exitosa.

En ese contexto es grato poner a disposición de los palmicultores y de la comunidad científica este libro de gran aporte al conocimiento de la fisiología de la palma de aceite y, a la vez, expresar un inmenso agradecimiento al grupo de investigadores adscritos al Programa de Biología y Mejoramiento Genético de Cenipalma y al Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, quienes realizaron este loable esfuerzo científico. Además, se agradece la financiación recibida tanto de Fedepalma-Fondo de Fomento Palmero como del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias), para llevar a término esta iniciativa.

José Ignacio Sanz Scovino, Ph.D.

Director Ejecutivo

² Leather, S.R. 2010. Precise knowledge of plant growth stages enhances applied and pure research. *Annals of Applied Biology* 157: 159.161.

Introducción

La palma de aceite se ha constituido en uno de los cultivos más importantes en Colombia y el mundo. Su alta productividad, unida a su naturaleza perenne, ha llevado a una expansión acelerada de las áreas sembradas y su agroindustria tiene el potencial de impactar en las áreas económicas, sociales y ambientales del país, en regiones, por lo general, alejadas de centros urbanos mayores y tradicionalmente deprimidas o de economía precaria.

La palma de aceite alcanzó un área total en producción mundial cercana a los 14,2 millones de hectáreas en 2012, de las cuales Colombia participó con 452.435 ha, distribuidas en cuatro regiones productoras. El país es el quinto en el mundo con mayor rendimiento de aceite de palma con $3,2 \text{ t ha}^{-1}$ (Fedepalma, 2012).

A pesar de la relevancia de la palma de aceite en el mundo, muchos aspectos básicos de su biología aún están por estudiar. Por ejemplo, conociendo la importancia para el manejo agronómico y el desarrollo de nuevos materiales por medio del mejoramiento genético, no se ha realizado una descripción sistemática y profunda del proceso de desarrollo de la palma.

En este proceso se presentan varios cambios visibles externos que son resultado de las condiciones ambientales. El estudio de estos eventos periódicos, regulados principalmente por el clima y cambios estacionales, se denomina fenología (Cautin & Agusti, 2005). El comienzo y el fin de las fases sirven como un medio para juzgar la rapidez del desarrollo de estas plantas. Basados en los datos de observaciones fenológicas es posible definir las regularidades en el crecimiento de una planta en relación con su medio ambiente, así como sus requerimientos con respecto a los factores meteorológicos. De esta manera, la información fenológica es útil para la elaboración de modelos predictivos de producción en función del clima.

El conocimiento de los estadios fenológicos de un cultivo permite el mejoramiento de las prácticas agronómicas aplicadas al optimizar

las épocas de aplicación de insumos, posibilitar estrategias de manejo preventivo de enfermedades y plagas, y realizar con oportunidad labores como la polinización y la cosecha (Salazar *et al.*, 2006). Sin embargo, para hacer una utilización adecuada del conocimiento fenológico de la planta, es importante contar con una definición clara, consistente y universal de los estadios fenológicos, en busca de obtener una escala estandarizada que pueda ser usada en cualquier localidad y con cualquier material genético de palma.

El Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma), con el apoyo del Fondo de Fomento Palmero, administrado por Fedepalma, y la cofinanciación del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias), ha ejecutado un proyecto de investigación tendiente a definir las fases fenológicas de la palma de aceite africana y del híbrido interespecífico OxG, cuyos resultados se presentan en este libro, el cual está dividido en cinco capítulos: el primero corresponde a generalidades sobre la palma donde se realiza una descripción morfológica de los diferentes órganos con especial énfasis en la utilización correcta de los términos usados en trabajos de botánica en palma; en segundo lugar, se amplía el concepto de fenología y se explica la estructura de la escala de palma de aceite basada en la escala BBCH extendida para el crecimiento de cultivos y malezas.

Desde la segunda hasta la quinta sección, se describe la fenología de cada una de las especies cultivadas de palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq. *Elaeis oleifera* (Kunt) Cortes y sus híbridos interespecíficos, y se presenta de manera compilada la escala BBCH extendida de la palma de aceite, en donde se presentan diferencias marcadas entre la palma africana y el híbrido OxG, y se hace una descripción de las variaciones encontradas de manera textual y gráfica. Finalmente, la sexta sección presenta algunas aplicaciones que tiene la escala BBCH de palma de aceite en el manejo agronómico del cultivo.



CAPÍTULO 1

Clasificación y morfología de la palma de aceite

Autores

Paola Andrea Hormaza Martínez
Diana Carolina Forero Hernández
Hernán Mauricio Romero Angulo

Clasificación

La palma de aceite pertenece al orden Arecales y la familia Arecaceae, una de las más grandes de monocotiledóneas, con más de 190 géneros y 2.364 especies (Govaerts & Dransfield, 2005). Actualmente, esta familia está dividida en las siguientes cinco subfamilias: Calamoidae, Nipoideae, Coriophoidae, Ceroxyloideae y Arecoideae (Dransfield & Uhl, 2008); dentro de esta última se encuentra la tribu Cocoseae, y la subtribu Elaeidinae a la que pertenece el género *Elaeis* compuesto por las especies *Elaeis guineensis* Jacq. (palma africana) y *Elaeis oleifera* (Kunt) Cortes (palma americana), siendo *E. guineensis* la más utilizada comercialmente en el mundo y, por tanto, la más estudiada (Corley & Tinker, 2003). Esta especie es nativa de las áreas más húmedas de África tropical y se encuentra en estado natural en márgenes de bosques húmedos y a lo largo de los cursos de agua en áreas secas. Mientras que la palma americana *E. oleifera* es nativa de Centroamérica y Suramérica y se encuentra en suelos pobremente drenados, arcillosos o en las llanuras (Dransfield & Uhl, 2008).

A principios de la década de los noventa, una epidemia de la Pudrición del cogollo (PC) afectó la producción de miles de hectáreas en la Zona Oriental (Llanos Orientales). A partir de 2005 comenzó a afectar de manera letal las plantaciones ubicadas en Tumaco (Zona Suroccidental) y algunos municipios de la Zona Central, por esta razón, en los últimos años se ha dado un nuevo impulso a la siembra comercial de híbridos interespecíficos (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*), los cuales poseen algunos atributos deseables como la producción de aceite más rico en ácidos grasos insaturados, el crecimiento longitudinal lento y su aparente tolerancia a enfermedades como la PC. (Torres, Rey, Gelves, & Santacruz, 2004; Zambrano, 2004).

Crecimiento y desarrollo

El ciclo de vida de los individuos en una población consiste en una serie de estadios morfológicamente reconocibles, producidos en for-

ma cronológica hasta la muerte y caracterizados por la adquisición o pérdida de ciertas estructuras y propiedades, algunos cambios morfológicos, anatómicos, fisiológicos y bioquímicos que ocurren durante su desarrollo.

Las palmas se desarrollan en las áreas tropicales y subtropicales, presentan un crecimiento continuo e ininterrumpido con diferentes tasas de crecimiento de acuerdo con las condiciones ambientales (Dransfield & Uhl, 1998). La Figura 1 ilustra el ciclo de vida de una palma, que consta de cinco fases: embrión, plántula, establecimiento, fase adulta vegetativa y reproductiva (Tomlinson, 1990).

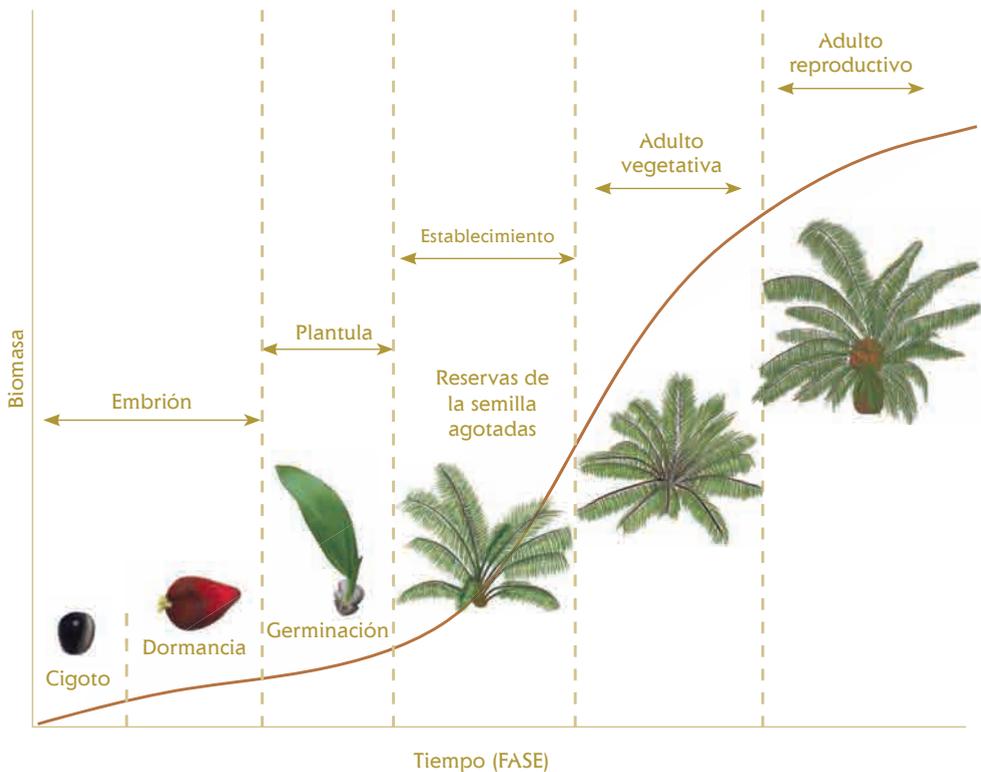


Figura 1. Fases de desarrollo de la palma de aceite, adaptado de Tomlinson (1990).

El ciclo de vida comienza con el desarrollo del embrión, el rompimiento de la dormancia y la germinación de la semilla; posteriormente, los cambios entre una fase y otra involucran variaciones en el tamaño, forma del tallo y de las hojas y, finalmente, la producción sucesiva de inflorescencias y frutos.

En la fase de establecimiento, que empieza desde la plúmula, los entrenudos gradualmente incrementan su diámetro; en cuanto a la longitud, al inicio estos son cortos

y luego, se alargan dando una apariencia de cono invertido a la base del tallo y al final, se establece el tamaño en la etapa de madurez del individuo.

A diferencia de la mayoría de las monocotiledóneas, las palmas presentan un crecimiento secundario difuso que les permite incrementar el diámetro del tallo mediante un aumento en el tamaño o el número de las células de parénquima y los haces vasculares, lo que hace que tenga un aspecto fibroso.

Morfología³ de la palma de aceite

La palma de aceite tiene un solo punto de crecimiento o meristemo apical del cual se origina una sucesión continua de yemas foliares (Henry, 1955). El desarrollo de la hoja inicialmente es muy lento, por lo general, toma de dos a tres años desde la iniciación hasta que se abren los folíolos en el centro de la corona. Si las condiciones ambientales son favorables estas hojas se abren y otra, llamada flecha, se elonga y toma su lugar (Corley & Tinker, 2003).

La principal característica de la palma de aceite es que posee un tallo único de tipo pleonántico, lo que significa que las inflorescencias aparecen en las axilas de las hojas y se producen a medida que la planta continúa con su crecimiento vegetativo (Adam, *et al.*, 2005; Dransfield & Uhl, 1998). El estípite es erecto y en él permanecen las bases peciolares de las hojas hasta la etapa adulta, estas, al caer, dejan al descubierto cicatrices amplias que permiten apreciar los entrenudos (Dransfield & Uhl, 2008).

Esta especie produce inflorescencias femeninas y masculinas en la misma planta en ciclos alternados de duración variable, dependiendo de las condiciones genéticas y ambientales. El desarrollo inicial de una inflorescencia toma de dos a tres años, tiempo en el cual esta se encuentra totalmente cubierta por las hojas (Corley, 1976).

La antesis de la inflorescencia femenina ocurre en la hoja 17-20 y el desarrollo del racimo hasta la etapa de madurez puede tomar de 4,5 a 6 meses. El racimo maduro puede alcanzar más de 50 cm de largo y 35 cm de ancho, está constituido por los tallos de las espiguillas donde se insertan los frutos y espinas (Corley & Tinker, 2003).

El fruto es una drupa sésil que tiene forma esférica, ovoide o elongada. El pericarpio está conformado por el exocarpio, mesocarpio y endocarpio, este último rodea a la almendra (Corley, 1976; Siew *et al.*, 2003). La apariencia externa de

³ Morfología: es una parte de la biología que trata de la forma de las plantas y de las modificaciones o transformaciones que experimentan, dicho en otras palabras, se encarga de estudiar la forma y la estructura de un organismo y cualquiera de sus partes.

los frutos varía considerablemente durante el proceso de desarrollo, la coloración más común es violeta oscuro en el ápice y verde amarillento en la base antes de la maduración y se denominan *nigrescens*; otro tipo menos común es aquel en que los frutos tienen tonalidades verdes antes de la maduración (*virescens*). De acuerdo al grosor del cuesco se clasifican en *Dura* (grosso), *Tenera* (delgado) y *Piscifera* (sin cuesco) (Corley & Tinker, 2003).

La semilla

Es una nuez que se localiza en la parte central del fruto. Las semillas de *Elaeis guineensis* constan de un endocarpio o cuesco de consistencia dura (ancho entre 0,5 a 5 mm); una a tres almendras provenientes de un ovario tricarpelar el cual está constituido por un tegumento o testa delgado de color pardo oscuro y cubierto por un tejido fibroso; un endospermo o albumen aceitoso, duro y de color blanco grisáceo, que posee una cavidad central (Figuras 2a-2d). El embrión es lineal y se encuentra localizado frente al poro germinal, pero separado de este por el opérculo, constituido por una capa de células delgadas endosperómicas (Figura 2e) (Hartley, 1988).



Figura 2. Semilla de palma de aceite a) semilla seca, b) almendra, c) endospermo y embrión d) embrión aislado y e) esquema de la parte interna de la semilla.

Por su parte, las semillas de *E. oleifera* presentan un endocarpio de color castaño oscuro (negruzco), leñoso y recubierto por fibras; los poros germinativos son pequeños y se encuentran dispuestos en el ápice de la semilla. Normalmente, desarrolla una sola almendra de forma irregular pues adopta la forma del lóculo pero, por lo general es algo hundida y deprimida hacia la base. El albumen es corneo, blanco y, a veces, presenta una cavidad central; el embrión es basal, de 4,5 mm de largo por 1 mm de grosor y algo oblicuo hacia el interior (Vallejo, 1976).

Entre tanto, las semillas del híbrido OxG asumen una forma ovoide pero con un número variado de cúspides; poseen un color pardo oscuro con dimensiones de: 21,7 mm de largo; 18,1 mm de ancho y 2,5 mm de grosor del cuesco. El peso promedio es de 3,6 g con una almendra por semilla, aunque también puede presentar 2 o 3. La almendra del híbrido OxG es, en general, de forma ovoide, mide en promedio 13,7 mm de largo; 10,6 mm de ancho y pesa 0,6 g (Chan & Romero, 2010., datos sin publicar). Una característica importante de los embriones es que presentan desarrollo incompleto (inmadurez fisiológica) (Guerrero *et al.*, 2011).

La semilla de palma de aceite se clasifica como dormante⁴, de manera similar a semillas con una testa gruesa, debido a esto la germinación se presenta 1 a 2 años después de que es obtenida del fruto, esta situación es atribuida a limitaciones en el crecimiento del embrión producidas por restricciones mecánicas y la limitada toma de oxígeno debido a los tejidos compactos presentes en el endospermo (Hussey, 1958; Mok, 1982), como resultado, un período de alta temperatura con una suficiente humedad en la semilla es requerida para una germinación alta y en menor tiempo (Rees, 1962; Mok, 1982).

Por otra parte, en condiciones naturales, como resultado de la descomposición exotérmica del aceite del mesocarpio, por la acción de hongos y otros microorganismos, las semillas de palma de aceite reciben calor, a pesar de esto, su germinación es lenta (uno a dos años) y con bajo porcentaje (Rees, 1963). En cambio, en tratamientos controlados, se almacenan en rangos de temperaturas de 38 a 40° C, así como en escalas variables de tiempo y porcentaje de humedad; estas metodologías para la germinación de palma de aceite han sido descritas por (Corley & Tinker, 2003; Hussey, 1958; Periasamy, Gopapal, & Soh, 2002; Rees, 1962)

También, se clasifica como intermedia⁵ de acuerdo con su comportamiento en almacenamiento (Ellis *et al.*, 1991); estos autores mostraron que la viabilidad de estas semillas puede ser mantenida durante 12 meses de almacenamiento, a 15° C, con un contenido de humedad del 10 al 12 %, por 90 días con un contenido de 18 % de humedad (Rees, 1962).

⁴ Dormancia: es un estado de la semilla en el que, a pesar de que está madura y viable, no germina pese a contar con las condiciones favorables para su desarrollo. Este bloqueo a la germinación es diferente entre las especies de acuerdo con su adaptación al medio ambiente donde se encuentran, en este caso, la germinación ocurrirá cuando las condiciones sean apropiadas para el desarrollo de las plántulas (Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006).

⁵ Semilla intermedia: inicialmente la semilla de *Elaeis guineensis* fue clasificada como recalcitrante debido a su alto contenido de humedad, luego como ortodoxa debido a su favorable respuesta al almacenamiento en condiciones de criopreservación y, actualmente, después de rigurosos estudios, como una semilla intermedia y, esto explica porqué el 30 % de las semillas permanecen viables después de 33 meses cuando se almacenan en el suelo desnudo en condiciones naturales (Rees, 1963).

Para la obtención de semillas es conveniente cosechar los racimos antes de que comience la abscisión de los frutos, aproximadamente cinco meses después de la antesis. Luego de la cosecha se remueve el exocarpio y el mesocarpio del fruto y la semilla se somete a un proceso de secado, para evitar la germinación prematura y proceder a su almacenamiento a una temperatura entre 20-22° C y con unas condiciones de humedad entre el 18-19 % (Corley & Tinker, 2003).

La hoja

En las etapas tempranas del desarrollo de la palma, las hojas van cambiando de forma después de la germinación; las primeras que se forman son lanceoladas, es decir, son angostas y elípticas, terminan en punta hacia ambos extremos y se denominan eófilos (Dransfield & Beentje, 1996). Después, se dividen solo a lo largo de la línea del raquis, cerca del ápice y se llaman bífidas (Dransfield & Uhl, 2008). Posteriormente, la hoja comienza a rasgarse en dos lugares: a lo largo de los pliegues y alrededor de los bordes exteriores, donde el desprendimiento de una tira marginal libera las puntas de los folíolos.

La lámina foliar se desarrolla sobre el raquis como dos secciones secundarias al principio lisas. Luego, aparecen formando plegamientos como una serie de dobleces en zigzag. En cada pliegue adaxial crece el tejido vascular, formándose la vena central de cada folíolo; los pliegues abaxiales se separan y, al madurar la hoja, el alargamiento del raquis separa los folíolos entre sí (Figura 3).



Figura 3. Forma de las hojas en palma de aceite a) hoja lanceolada, b) hoja bífida, c) rasgado de la hoja, d) folíolos reduplicados, e) hoja madura.

Por otra parte, las hojas de las palmas tienen, como regla general, que las venas del haz (adaxial) son más gruesas que las del envés (abaxial) y poseen más haces vasculares, por lo tanto, cuando los pliegues abaxiales se separan (escisión) a lo largo de las venas, los folíolos toman una forma de Λ dando como resultado un folíolo reduplicado y, al madurar la hoja, el raquis separa los folíolos entre sí (Henry, 1955), con la apariencia de una hoja madura pinnada, es decir, que el eje es continuo desde el peciolo hasta el raquis y, en este último, se insertan los folíolos o pinnas tomando el aspecto de una pluma.

En una planta adulta, en la región cercana al meristemo, conocida como cogollo, se pueden encontrar hasta sesenta hojas en etapa de diferenciación y crecimiento. Desde la diferenciación de las hojas de palma de aceite en el meristemo apical hasta la etapa de senescencia pasan, aproximadamente, cuatro años y se consideran tres fases: 1) fase juvenil, de 24 meses, donde la hoja se está desarrollando dentro del estípite; 2) fase de crecimiento rápido, que dura más o menos cinco meses y se denomina hoja flecha (hoja cerrada), una estructura cilíndrica compuesta por el raquis al cual están estrechamente adheridos los folíolos y 3) fase adulta, que va desde el despliegue de los folíolos hasta la senescencia (o poda) y cuya duración es de 20 meses (Cayón, 1999).

En condiciones naturales el meristemo vegetativo de una palma adulta produce hojas a una tasa constante de 20 a 25 por año, que varía con la edad y las condiciones de producción. Asimismo, puede llegar a tener entre 30 y 49 hojas funcionales, las cuales pueden alcanzar entre 5 y 7 m de longitud y pesar de 5 a 8 kg. En una hoja de palma se pueden distinguir dos zonas: la del peciolo, que se encuentra rodeado por espinas cortas de base gruesa con aproximadamente 1,5 cm de longitud, algunas terminan en una fibra corta de hasta 5 cm; y la zona de la lámina, compuesta por los folíolos (alcanzan un número entre 250 y 300) y un eje central denominado raquis, al cual están adheridos.

Los peciolos pueden alcanzar longitudes hasta de 1,2 m y son más cortos que el raquis, el cual es duro y fibroso, llegando a medir hasta 8 m de largo (Figura 4).

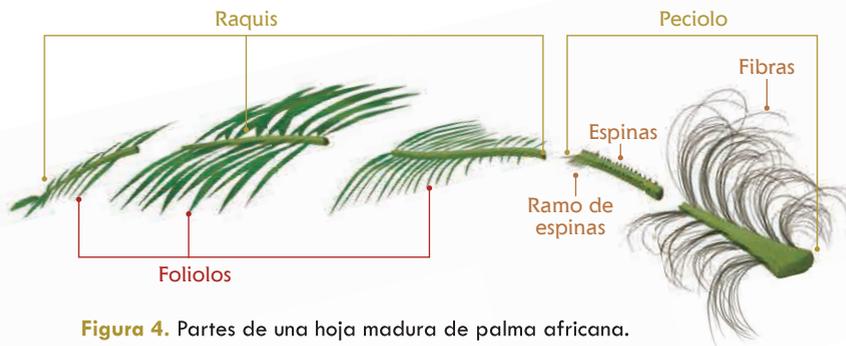


Figura 4. Partes de una hoja madura de palma africana.

Por otro lado, la disposición de las hojas con respecto al eje se conoce como filotaxia dando lugar a la formación de grupos de espirales o parásticos (Anon, 1961; Henry, 1955). En la palma de aceite se pueden identificar dos grupos de espirales: el primero está conformado por ocho espirales, en donde, si se numeran las bases foliares en el orden de la formación de las hojas, se puede identificar que cada octava hoja se ve en la misma espiral; por lo tanto, las hojas numeradas como 1, 9, 17 estarán unas debajo de las otras (Figura 5).



Figura 5. Filotaxia de la palma de aceite de derecha a izquierda. Fotos: D. Forero (2012). Ubicación: Guaicaramo S.A.

Entretanto, otra espiral se forma en sentido contrario, en donde cada decimotercera hoja aparece en la misma espiral (más vertical). Otros autores referencian otros parásticos compuestos por cinco hojas intermedias, donde la primera espiral estaría formada por las hojas 1 a 5 (Ortiz & Fernández, 2000).

Al observar las palmas, muchas exhiben una filotaxia derecha, es decir, que la espiral superior comienza desde la derecha y termina en la parte inferior hacia la izquierda y, otras, cuyo arreglo es opuesto a lo descrito anteriormente, es decir que la filotaxia es izquierda (Figura 6).



Figura 6. Filotaxia de la palma de aceite: a) derecha, b) izquierda. Fotos: D. Forero (2012). Ubicación: Guaicaramo S.A.

La importancia de la hoja radica en que cumple las funciones de intercambio de gases de la planta, absorbe gas carbónico para hacer fotosíntesis y, de manera simultánea, pierde agua en forma de vapor en el proceso de transpiración. Las estructuras encargadas de hacer este intercambio gaseoso se denominan estomas, los cuales se encuentran en la superficie inferior de los folíolos. La densidad de estomas en palma de aceite es de aproximadamente 145 a 175 por mm^2 (Corley *et al.*, 2009). Así pues, el rendimiento primario de la palma de aceite está relacionado con su capacidad de asimilación, con el área foliar (Turner & Gillbanks, 2003) y con la producción de hojas; esta última determina el rendimiento de racimos a corto plazo, ya que a cada hoja le corresponde una inflorescencia cuyo tamaño y desarrollo depende del estado fisiológico de la planta.

El estípite

La principal característica de la palma de aceite es que posee un tallo único de tipo pleonántico, esto significa que las inflorescencias aparecen en las axilas de las hojas y se producen a medida que la planta continúa con su crecimiento vegetativo (Adam, *et al.*, 2005; Dransfield & Uhl, 1998). El estípite es erecto, solitario y columnar, en él permanecen las bases peciolares de las hojas hasta la etapa adulta que, al caer, dejan al descubierto cicatrices amplias y se aprecian los entrenudos (Dransfield & Uhl, 2008; Latiff, 2000) (Figuras 7 y 8). Por otra parte, en la parte inferior (bulbo) es de forma dilatada y de él se originan las raíces (Figura 9).



Figura 7. Bases peciolares persistentes en el estípite en una palma adulta.
Foto: R. Ospitia (2007).



Figura 8. Estípites de palmas adultas sin bases peciolares. Fotos: P. Hormaza (2010).
Ubicación: Guaicaramo S.A.



Figura 9. Bulbo radicular de una palma adulta.

El estípites tiene tres funciones: la primera es que sirve como soporte de las hojas; la segunda es transportar el agua y los nutrientes minerales de la planta por el sistema vascular y, la tercera, funcionar como un órgano de almacenamiento de nutrientes, especialmente potasio (Latiff, 2000; Turner & Gillbanks, 2003). Un indicador del manejo de una plantación se puede observar a través de cambios en el diámetro del estípites, ya que refleja una variación en el estatus nutricional de la palma.

El acceso a los racimos de la palma depende de la altura final del estípites, en consecuencia, los programas de mejoramiento tienen un especial interés en la selección de materiales *Dumpy-Dura* y cruzamientos de *Elaeis oleifera* con *Elaeis guineensis* con el fin de obtener materiales más fáciles de cosechar (Le Guen *et al.*, 1990). En particular, se ha determinado que en lotes con 30 años de edad no se puede cosechar el 20 % de las palmas, debido a la altura en la cual se encuentran los racimos (Ho & Chiang, 1999).

Las raíces

El sistema radical de la palma de aceite es fasciculado, es decir, que a partir de la emergencia de la plántula esta emite una radícula que es reemplazada pronto por las raíces fasciculadas (adventicias), que salen del punto de unión entre la radícula y el hipocótilo. Las raíces se originan en la base ensanchada del tronco, se ramifican y extienden a diferentes distancias y profundidades.

Fase juvenil (vivero)

Durante esta fase, que abarca de 0 a 1 año, se diferencia la radícula de las raíces adventicias. La radícula está orientada hacia abajo, es ligeramente ondulada y termina en un ápice puntiagudo, blanco y con una cofia.

El crecimiento de este tipo de raíz es continuo y no supera los 50 cm de longitud y los 1,5 mm de diámetro. A partir del primer mes, después de la emergencia, se emiten las raíces adventicias primarias (RI) y durante el primer año su tasa de producción es elevada.

Tanto en la radícula como en las raíces adventicias hay un patrón de ramificación de raíces laterales denominadas largas, medianas y cortas, las cuales se insertan en un ángulo de 90° (Jourdan, 1995; Jourdan & Hervé, 1997). Las raíces largas tienen una longitud por encima de los 10 cm, las medianas no los sobrepasan y las cortas no superan los 1,5 cm de longitud (Figura 10).



Figura 10. Raíces de la palma de aceite en la fase juvenil Rad (radícula) y Adv (raíces primarias adventicias). Ubicación: Unipalma S.A.

Crecimiento en campo (de 1 a más de 20 años)

Cuando la palma se encuentra en sitio definitivo se emiten nuevas raíces primarias en la periferia del plato. Se han descrito dos tipos de estas en campo, las de orientación vertical (RIs, RI VDs) y de orientación horizontal (RIIs, RII Hs), y su número se incrementa constantemente hasta los 11 años, hasta que el número de RI VDs se estabiliza y el de las RII Hs aumenta. Las raíces verticales, al profundizar, se convierten en órganos de anclaje, tienen un diámetro de 4 a 9 mm y carecen de poder de absorción por estar en su mayoría lignificadas.

A partir de las raíces primarias se desarrollan las secundarias, que tienen un diámetro de 2 a 4 mm, brotan en su mayoría (55 a 70 %) en forma ascendente (geotropismo negativo), por no estar tan lignificadas pueden ser absorbentes en sus primeros 5 a 6 cm, pero tienen principalmente la función de dar origen a las raíces terciarias (RIII), de 1,35 mm de diámetro y unos 15 cm de largo. Las raíces cuaternarias (RIV), de 0,2 a 0,5 mm de diámetro y de 1 a 4 mm de longitud, se originan de terciarias, ambas (terciarias y cuaternarias) ejercen la función de absorción de minerales de la solución del suelo y se localizan en los primeros 15 centímetros del suelo. De allí el cuidado que se debe tener con las prácticas de control de malezas y de fertilización. El sistema radicular, incluyendo las raíces primarias, se renueva constantemente, lo cual es necesario porque la rápida lignificación de los tejidos y la ausencia de pelos absorbentes hace que se vayan reduciendo las posibilidades de absorción de agua y sales minerales por parte de las raíces jóvenes.

La proporción de raíces en *Elaeis oleifera* es muy inferior a la de *Elaeis guineensis*, teniendo en cuenta que en palmas de siete años las raíces se encuentran en los primeros 20-25 cm de profundidad hasta 3 m. Otra diferencia entre estas dos especies es que en *E. oleifera* se encuentran raíces adventicias sobre todo el estípite (Patiño, 1977) (Figura 11).

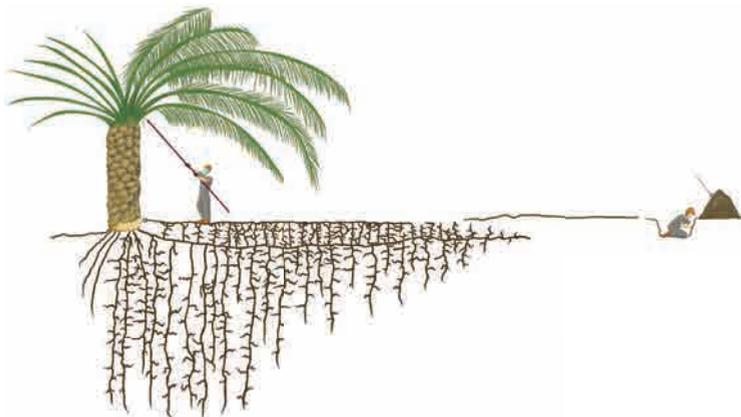


Figura 11. Esquema de la arquitectura de las raíces en palma de aceite de ocho años de siembra, adaptado de: (Jourdan & Hervé, 1997).

Anatomía de la raíz

En un corte transversal de una raíz puede observarse su anatomía, conformada por los siguientes tejidos, de la periferia hacia el centro (Sánchez, 1982).

- La rizodermis, formada por grandes células de paredes delgadas que se lignifican en raíces viejas.
- La hipodermis, constituida por células grandes de paredes gruesas lignificadas y que conforman una barrera eficaz entre la rizodermis y el parénquima cortical.
- El parénquima cortical conformado por una zona externa de 2 a 3 hileras pequeñas que se lignifican con la edad, una zona media o parénquima, constituida por células de paredes delgadas, muchas de las cuales se desintegran con la edad dejando grandes espacios vacíos a manera de laguna, y una zona interna formada por tres hileras de células regularmente dispuestas y mucilaginosas.
- La endodermis, formada por células que presentan la banda de Caspari lignificada y que rodea completamente el cilindro central.
- El periciclo, compuesto por una capa de células meristemáticas, a partir de las cuales se originan raíces secundarias y cuya lignificación ocurre bastante tarde.
- El cilindro central, conformado por el xilema con vasos anillados (protoxilema) y vasos escaleriformes o reticulados (metaxilema), por el floema con células parenquimatosas o protofloema y tubos cribosos de la savia y células acompañantes, y por la médula que se lignifica rápidamente y presenta grandes lagunas.

Las flores e inflorescencias

En la familia Arecaceae hay dos tipos de floración (Tomlinson, 1990), la primera es la hapaxántica, con una transición abrupta al estado reproductivo, donde las ramas reproductivas se expanden y florecen después de que ha cesado el crecimiento vegetativo y la palma muere (solo ocurre en el 5 % de las palmas) y la pleonantica, donde a partir de un tallo solitario se producen las ramas florales (inflorescencias) en las axilas de las hojas vegetativas y continúan produciéndose a medida que la palma sigue su crecimiento vegetativo, es decir, la fase reproductiva es indeterminada y se presenta en el 95 % de las especies de palmas (Adam *et al.*, 2005).

Por otra parte, las especies del género *Elaeis* producen inflorescencias masculinas y femeninas por separado en la misma planta. Esta condición se denomina diclinia, la cual se divide en dos categorías: monoicas donde las flores masculinas y femeninas se producen en la misma planta, y dioicas, donde existen por separado plantas de ambos sexos. *Elaeis guineensis* se puede clasificar como monoica o 'dioica temporal',

ya que se presentan secuencias o ciclos de floración en donde hay poca superposición o no, entre las flores estaminadas y pistiladas de una palma individual y es un medio empleado para conseguir la exogamia⁶ (Beule *et al.*, 2011), dando como resultado un tipo de reproducción alógama (polinización cruzada).

A partir de los 20 a 24 meses después de trasplantada a campo aparecen las primeras inflorescencias femeninas (Figuras 12a y 12b), masculinas (Figuras 13a y 13b); en algunas ocasiones se presentan inflorescencias mixtas debido a la transición entre ciclos masculinos y femeninos (Biradar, 1978), estas son más comunes en palmas jóvenes y se les denomina también como inflorescencias andromorfas (Corley & Tinker, 2003), (Figuras 14); además, se pueden presentar abortos ocasionales.

Según Henry (1955), la formación de las inflorescencias en la palma de aceite se inicia a partir de la cuarta hoja producida y completa su madurez 30 a 35 meses después (2,5 a 3 años), durante gran parte de este tiempo el órgano se encuentra completamente encerrado en la base de la hoja que la sustenta.



Figura 12. Inflorescencias femeninas en antesis de *Elaeis guineensis* (a) y el híbrido interespecífico OxG (b). Fotos: P. Hormaza, (2010). Ubicación: Guaicaramo S.A.

⁶ Exogamia: Biol. Cruzamiento entre individuos de distinta raza, comunidad o población, que conduce a una descendencia cada vez más heterogénea.



Figura 13. Inflorescencias masculinas en antesis de *Elaeis guineensis* (a) y el híbrido interespecífico OxG (b). Fotos: A. Sánchez (2010). Ubicación: Palmar de La Vizcaína.



Figura 14. Inflorescencias andromorfas del híbrido interespecífico OxG. Fotos: P. Hormaza (2009). Ubicación: Guaicaramo S.A.

Diferenciación sexual en palma de aceite

La palma de aceite presenta ciclos alternados de floración con una duración variable, los cuales dependen de factores genéticos, la edad y las condiciones ambientales, de hecho, la diferenciación sexual es un proceso complejo y, aunque no hay suficiente información que permita establecer un modelo para explicar su regulación, se han identificado cuatro factores de importancia que pueden estar participando en la determinación y diferenciación sexual: factores abióticos como el estrés hídrico (Cor-

ley, 1976), por ejemplo, la producción de inflorescencias masculinas está favorecida por esta condición; sin embargo, las bases fisiológicas y genéticas aún siguen siendo objeto de estudio. Otros factores están relacionados con el metabolismo (Beule *et al.*, 2011). (Beirnaert, 1935) postuló que la relación de la asimilación de carbono y la absorción de nitrógeno es un factor clave en la determinación del sexo, esta hipótesis puede estar asociada con los efectos observados del déficit hídrico en la caída de las tasas fotosintéticas. Otros factores que afectan el estatus metabólico de las palmas son las altas densidades de siembra, la poda de racimos y la defoliación de las palmas, condiciones que son compatibles con altos contenidos de asimilados de carbono.

(Legros, Mialet-Serra, & Caliman JP, 2009; Legros, Mialet-Serra, Caliman, *et al.*, 2009) realizaron un estudio comparativo en palmas sembradas en dos sitios en Indonesia, con y sin estación seca, con el fin de observar el efecto de los desbalances fuente-vertedero asociados con la variabilidad climática, poda de racimos y variación del fotoperiodo. La información obtenida reveló que los desbalances entre la fuente y el vertedero fueron principalmente amortiguados por fluctuaciones en los carbohidratos no estructurales en el estípite (glucosa y almidón), de los cuales se identificó al almidón como el principal amortiguador fisiológico de los desbalances estacionales fuente-vertedero (Legros, Mialet-Serra, & Vidal, 2009); sin embargo, se encontró que los niveles de glucosa disminuyeron progresivamente en respuesta a la poda de racimos después de 22 meses.

Con respecto al papel de las hormonas en la determinación sexual en palma de aceite, se realizaron algunos experimentos aplicando reguladores de crecimiento a palmas jóvenes dentro de bolsas de polietileno (Corley, 1976), como resultado se observó que la auxina ácido α -Naftalenacético (NAA) promovía la producción de inflorescencias femeninas; no obstante, el efecto solo se apreció hasta 24 meses después de finalizar el tratamiento, donde la diferenciación sexual se esperaba que tuviera lugar 16-22 meses antes de la antesis, por esta razón el efecto feminizante se asumió como indirecto.

En el caso de etefón (ácido 2-cloroetilfosfónico), el efecto predominante fue el retraso de la floración y una disminución estadísticamente no significativa de la relación de sexos; por el contrario, el tratamiento con ácido giberélico mostró un incremento en la producción de inflorescencias masculinas y una reducción en las femeninas mostrando que desempeña un rol en el proceso de la determinación sexual en palma de aceite.

Con la información anteriormente descrita (Beule *et al.*, 2011) proponen un modelo básico para explicar las interacciones entre varios parámetros involucrados en la determinación sexual en palma de aceite. Este se basa en datos fenológicos y fisiológicos, y los asocia con factores genéticos que pueden estar asociados con el

comportamiento de las palmas de diferentes genotipos en las mismas condiciones ambientales; no obstante, todavía hay preguntas por resolver con respecto a los modos de interacción entre el metabolismo, el estado hormonal y el proceso mismo de la diferenciación sexual (Figura 15).

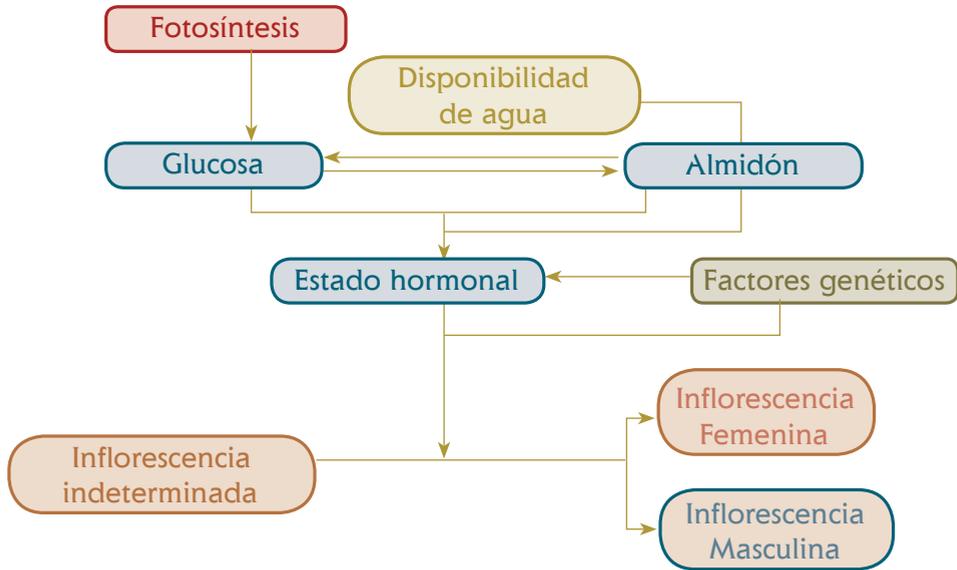


Figura 15. Modelo propuesto por (Beule et al., 2011) de los posibles modos de interacción de los factores que afectan la determinación sexual en palma de aceite.

De acuerdo con la evidencia disponible sobre la respuesta de las plantas al cambio ambiental, esta apunta al papel que juegan las hormonas como intermediarias entre el elemento de señalización del balance hídrico y la determinación del sexo y a los factores metabólicos actuando previamente (*upstream*) a las moléculas de las hormonas. El modelo coloca estos elementos conjuntamente y, en la actualidad, los grupos de investigación internacional están en el proceso de validación y ajuste con metodologías como genómica funcional o metabolómica junto con observaciones fenológicas en campo.

Etapas de desarrollo de las inflorescencias

Las inflorescencias pasan por varias fases de desarrollo y, debido a que se forma un primordio floral en las axilas de las hojas, las fases se referencian de acuerdo con el número de la hoja en promedio en la cual se puede identificar. En la Figura 16 se pueden apreciar las principales fases de desarrollo de inflorescencias en palma de aceite, el esquema se adaptó de la información descrita por (Adam et al., 2005; Corley & Tinker, 2003; Forero, Hormaza, & Romero, 2012).

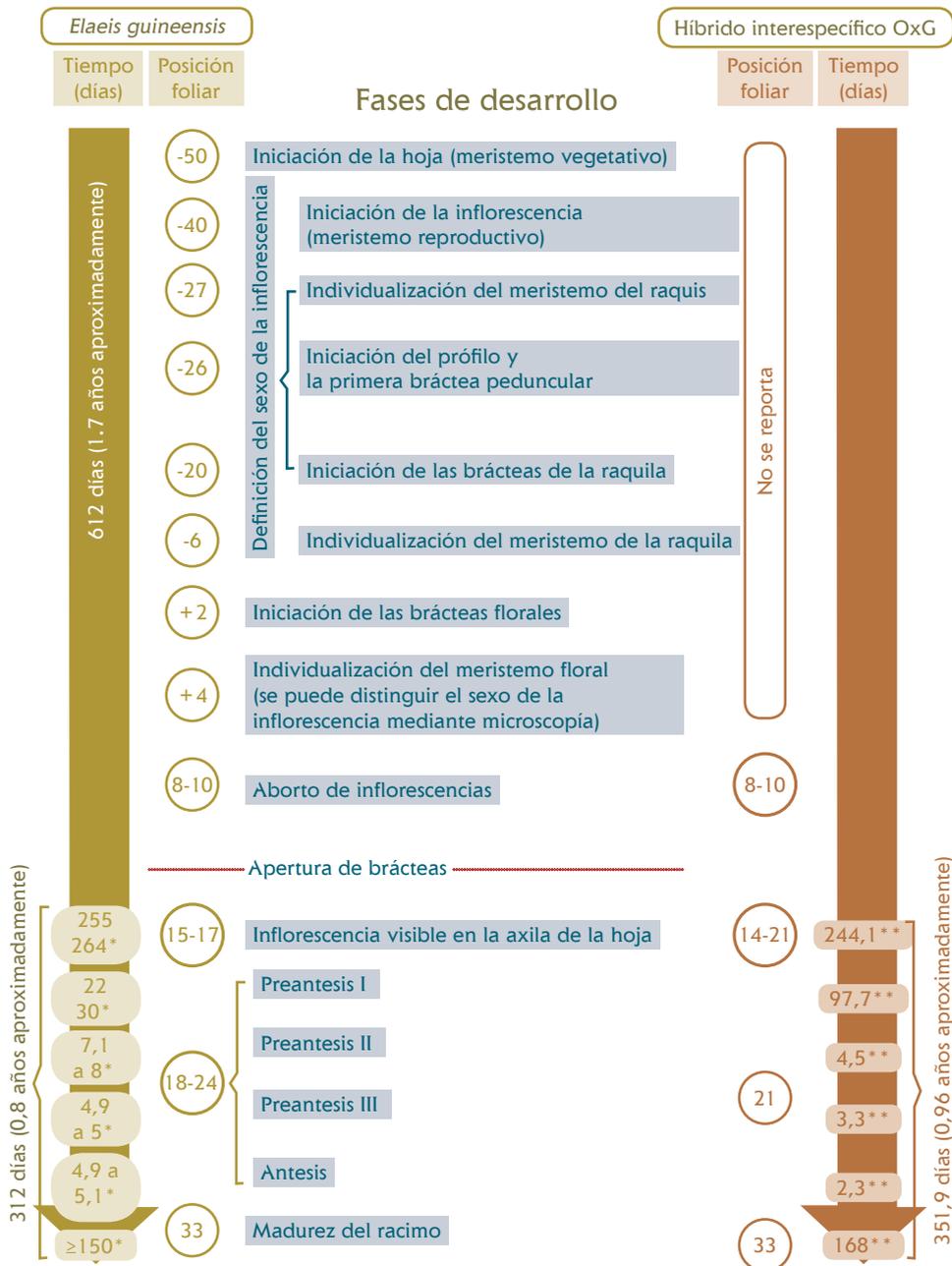


Figura 16. Cuadro comparativo de las etapas de desarrollo de las inflorescencias y racimo en *E. guineensis* y el híbrido interespecífico. Diagrama basado en las figuras de (Adam *et al.*, 2005).

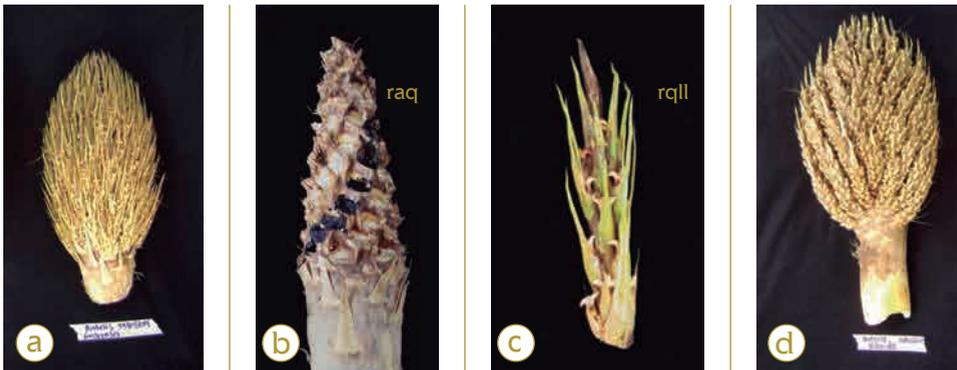
* Valores promedio obtenidos en la Zona Central (Campo Experimental Palmar de La Vizcaína) en cinco materiales de *Elaeis guineensis* (Forero *et al.*, 2012).

** Valores promedio obtenidos en la Zona Oriental (Guaicaramo S.A.) en un material híbrido (Hormaza, Mesa, & Romero, 2012).

Estructuras de las inflorescencias femeninas y masculinas

Desde el punto de vista morfológico, una inflorescencia es un sistema de ramificación monopodial que se desarrolla en la axila de una hoja, está compuesta por un eje principal denominado pedúnculo, con una longitud típica en la madurez entre 20 y 30 cm para la inflorescencia femenina, y alrededor de 40 cm o más para la inflorescencia masculina, por consiguiente, esta última es más sobresaliente de la axila de la hoja que la inflorescencia femenina (Beirnaert, 1935), después del pedúnculo se observa el raquis en donde se insertan las espiguillas o raquillas (ramas que sostienen las flores) en forma de espiral en una secuencia basipétala (de abajo hacia arriba) (Adam *et al.*, 2005). En las inflorescencias masculinas se desarrollan entre 100 a 300 raquillas cilíndricas y largas en donde se insertan entre 700 y 1.200 flores; mientras que en las inflorescencias femeninas se insertan aproximadamente 150 raquillas, donde se pueden observar entre 10 y 20 flores (Jacquemard, 1995, Thomas *et al.*, 1970). Además, presentan una región distal estéril que se convierte en una espina de longitud variable pero, generalmente, son romas a diferencia de las espinas de las brácteas que rodean las flores (Corley & Tinker, 2003). Una particularidad de los híbridos es que las espinas de las brácteas, en donde se insertan las flores, son más cortas, su extremo no es puntiagudo y son de coloración marrón medio.

Ambos tipos de inflorescencias están protegidas durante su desarrollo por el prófido y la primera bráctea peduncular hasta aproximadamente seis semanas antes de la antesis. El prófido alcanza una longitud final de 45 cm y junto con la bráctea peduncular forman una capa continua de protección, esta última es 2 a 4 cm más corta que el prófido. Ambas brácteas se engrosan y lignifican cuando emerge la inflorescencia, a medida que se desarrolla la inflorescencia, se van tornando fibrosas y, finalmente, se necrosan antes de ser rasgadas longitudinalmente por la inflorescencia que se está elongando (Adam *et al.*, 2005; Beule *et al.*, 2011) (Figuras 17 y 18).



Continúa en la página siguiente



Figura 17. Partes de la inflorescencia femenina en palma de aceite en antesis a) *Elaeis guineensis* y b) híbrido interespecífico O×G, raq (raquis), pe (pedúnculo), rqll (raquilla) c) corte transversal de una inflorescencia femenina pf (prófilo) y bp (bráctea peduncular) Fotos: P. Hormaza, 2010



Figura 18. Partes de la inflorescencia masculina de *guineensis*: pe (peciolo), rqll (raquilla) Fotos: R. Ospitia (2007).

Conformación de las raquillas y flores

La flor femenina funcional (pistilada) se desarrolla en una triada entre dos flores masculinas acompañantes no funcionales (estaminadas), característica típica en plantas monocotiledóneas. La disposición de las flores es en espiral alrededor de la raquilla y cada una de ellas está protegida por una bráctea espinosa, esta conformación se clasifica como una inflorescencia compleja simpodial de tipo cincino, de esta manera, se constituye un sistema de ramificación donde el eje principal es determinado (raquilla) y las ramificaciones laterales son producidas sucesivamente por meristemos axilares (flores) (Adam *et al.*, 2005; Corley & Tinker, 2003; van Heel, Breure Cornelius, & Menández, 1987) (Figura 19)

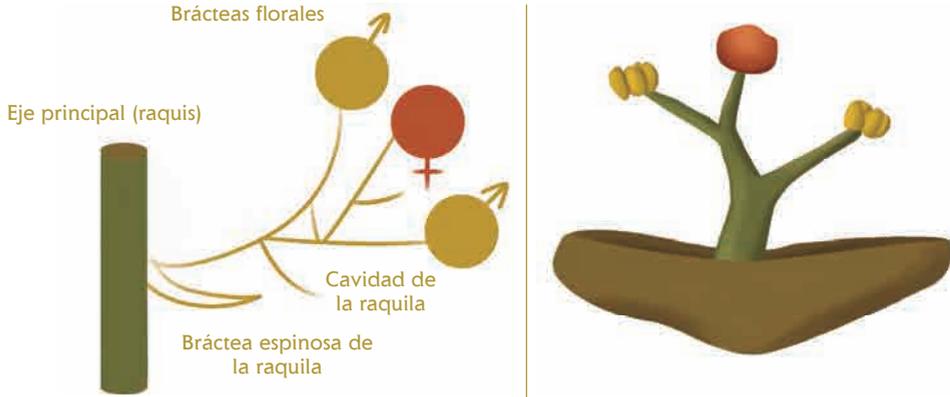


Figura 19. Sistema de ramificación de la inflorescencia femenina de *Elaeis guineensis*. Diagramas adaptados de (Dransfield & Uhl, 2008)

En la familia Arecaceae en el perianto se distinguen claramente los sépalos y los pétalos (Dransfield & Uhl, 1998). Sin embargo, en el caso de la palma de aceite, el perianto está conformado por tres pétalos rodeados de tres sépalos de apariencia similar y, por lo tanto, se refiere a ellos como tépalos (Adam *et al.*, 2005; Hartley, 1988). Por su parte, el gineceo o pistilo es columnar y ovoide conformado por un ovario tricarpelar (tres cavidades ováricas); tres estigmas que durante las etapas tempranas de la floración permanecen soldados (Figura 20).

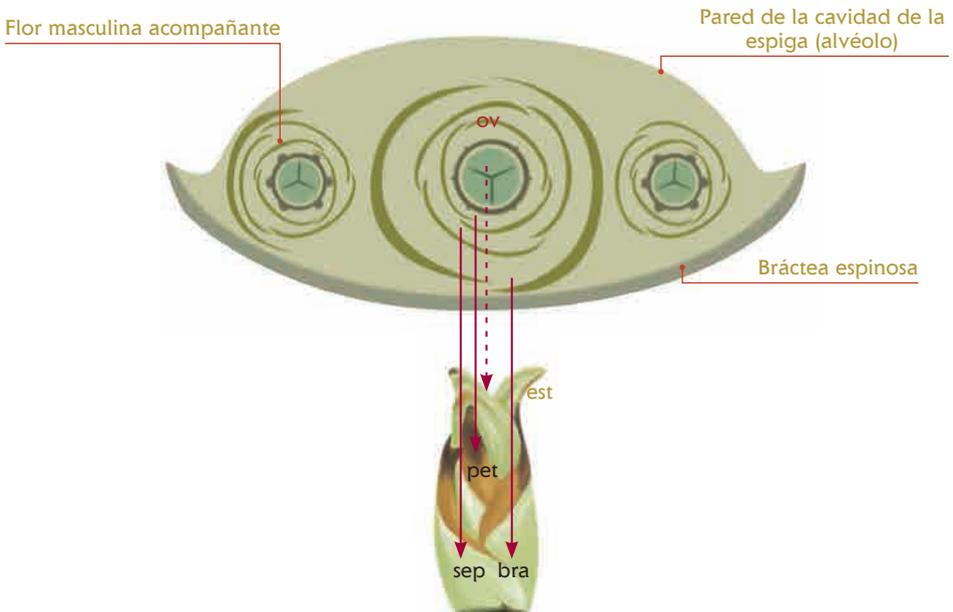


Figura 20. Partes de la inflorescencia femenina de palma de aceite: ov (ovario tricarpelar), est (estigmas), pet (pétalos), sep (sépalos), bra (bráctea floral). Diagrama floral (Van Heel *et al.*, 1987)

Entre tanto, en las raquillas masculinas se desarrolla una sola flor por bráctea, la cual es más pequeña con longitudes que varían entre 3 y 4 mm y ancho de 1,5 a 2 mm, durante su desarrollo en preantesis se encuentran rodeadas por una bráctea triangular que, al igual que la flor femenina, está constituida por tres sépalos y 3 pétalos. (Latiff, 2000) (Figura 21).

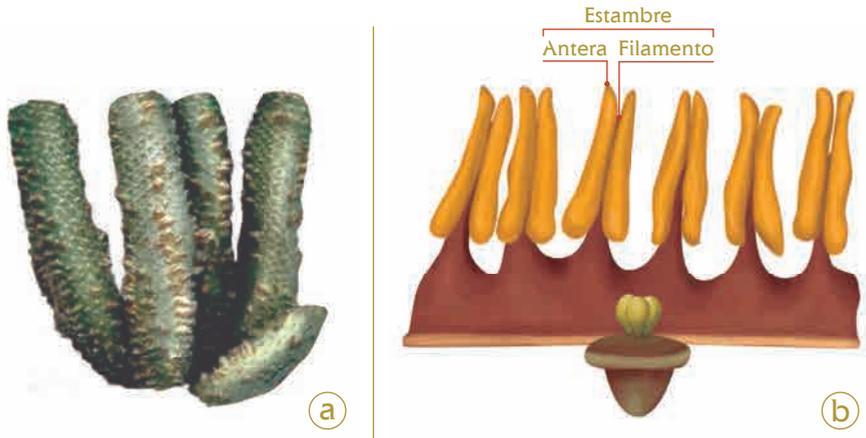


Figura 21. Partes de la inflorescencia masculina de palma de aceite. a) raquilla mostrando disposición de flores masculinas, b) partes de la flor masculina est (estambres), ant (anteras), gin (gineceo atrofiado). Fotos: P. Hormaza (2010).

La Tabla 1 muestra las diferencias de las inflorescencias femeninas entre *Elaeis guineensis* y el híbrido interespecífico OxG, en cuanto a las dimensiones del pedúnculo, la inflorescencia, número y longitud de raquillas, flores por raquilla y la totalidad de ellas.

Tabla 1. Constitución de las inflorescencias de la especie *Elaeis guineensis* y el híbrido interespecífico OxG. En palma de cinco años de edad, en la Zona Oriental colombiana. n=20 palmas híbrido: 63 palmas *E. guineensis*.

Especie	Largo pedúnculo (cm)	Largo inflorescencia (cm)	Ancho inflorescencia (cm)	Nº raquillas	Largo raquillas (cm)	Nº de flores/raquilla	Total flores
<i>Elaeis guineensis</i>	18-22	31-37	15-19	83-91	10-30	10-12	980-1.050
Híbrido OxG	10-18	36-44	21-25	100-120	11-13	21-25	2.300-2.800

Antesis y polinización

En la etapa receptiva (antesis) los estigmas se expanden hacia el exterior (Figura 22). La superficie receptiva está confinada al surco delgado en la cara adaxial de cada estigma. La superficie receptiva es papilada y húmeda aunque la cantidad de exudado es limitado. (Tandon, Manohara, Nijalingappa, & Shivanna, 2001b).

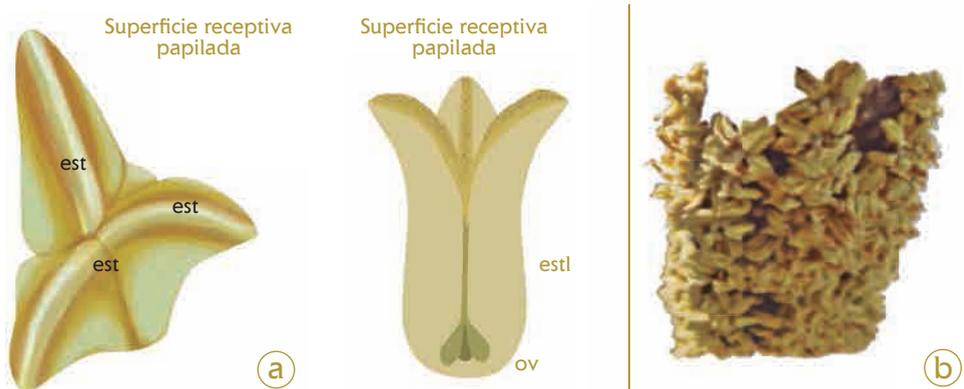


Figura 22. a) Flor femenina en antesis, est (estigma), estl (estilo), ov (ovario), b) flor masculina en antesis. Fotos: D. Forero (2012) y A. Sánchez (2009)

Durante las etapas más tempranas las papilas están cubiertas con una cutícula y al llegar a la fase receptiva, esta se rompe en algunos lugares, particularmente en las bases de las papilas a través de las cuales un exudado es liberado, mientras que el canal estilar se forma producto de la convergencia de los surcos de los tres lóbulos estigmáticos. Estos están llenos de una secreción que contiene pectinas, polisacáridos insolubles y proteínas, y las células periféricas del córtex del estigma y estilo acumulan compuestos fenólicos, aceites y rafidios.

La antesis ocurre de forma acropétala tanto en las inflorescencias masculinas como en las femeninas, ahora bien, las flores masculinas abren totalmente en tres días entre las 8:00 y 10:00 a.m., mientras que las femeninas abren en cuatro días, desde las 9:00 hasta las 10:00 a.m. Es importante destacar que el período de receptividad del estigma es bajo cuando los lóbulos se abren parcialmente, mientras que cuando estos están completamente expuestos se registra la máxima germinación del polen y se hace visible el exudado estigmático (Tandon, Manohara, Nijalingappa, & Shivanna, 2001a).

Por su parte, en la antesis de la flor masculina empieza a sobresalir de la cavidad donde se encuentra insertada y es posible observar seis estambres con sus respectivas anteras; su forma es rectangular con dos lóbulos que poseen rendijas a través

de las cuales el polen es liberado cuando los filamentos del estambre se extienden durante la etapa de antesis (Dransfield & Uhl, 2008). El polen es de forma elipsooidal con una ligera asimetría en *Elaeis oleifera* que se denomina monocolpada o de forma triangular achatada en *Elaeis guineensis*, el cual posee un surco de tres brazos (*tricotomocolpada*), la exina (capa externa y resistente del polen) está constituida a su vez de dos capas: endexina (interna) y ectexina (externa), esta última tiene una superficie perforada, con elementos esculturales que no sobrepasan 1 μm de longitud. Estos elementos son una respuesta adaptativa a los procesos de dispersión y polinización (Figura 23). La mayor parte del polen se esparce durante los primeros dos o tres días y su producción cesa sobre los cinco (Corley & Tinker, 2003). El polen puede permanecer viable por lo menos seis días después de la liberación, pero la viabilidad del polen producido suele ser baja en los últimos días; las inflorescencias pueden producir entre 25 a 300 g de polen fresco (Hardon & Turner, 1967).

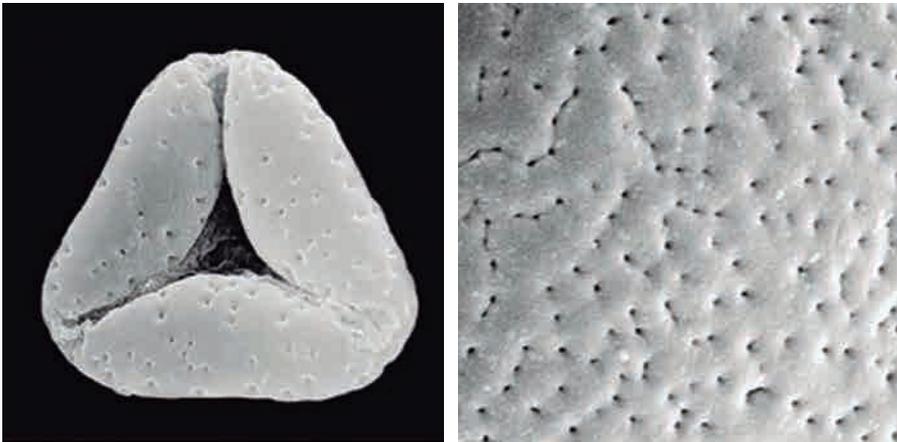


Figura 23. Grano de polen mostrando surco de tres brazos en *Bactris concinna* (SEM x 1000. Krukoff 6497) y superficie perforada de un grano de polen de *Rhopalobia ste augusta* (SEM x 8000. Furtado 30946). Fotografías tomadas de (Network European of Palm Scientists, 2012).

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

La morfología de los granos de polen presenta variaciones de acuerdo con las especies en *E. oleifera*, que son principalmente elípticos, no triangulares como los de *E. guineensis*. El polen híbrido es intermedio en forma y varía bastante en tamaño. Según (Vallejo, 1976) el tamaño del grano de polen del híbrido es de 32,7 x 32,3 μm . En este son frecuentes las divisiones celulares anormales durante la formación del grano, dando como resultado un bajo porcentaje de viabilidad y germinación (Hardon y Tan, 1969 citados por Corley & Tinker, 2003) (Tabla 2).

Tabla 2. Estudio comparativo de la viabilidad del polen del híbrido y sus progenitores.

Especie	Porcentaje de viabilidad	gramos/inflorescencia
Palma africana	70	2
Palma americana	5	1
Híbrido Coarí x La Mé	23	1,5

Fuente: (Pelaez & Ramírez, 2004)

La palma de aceite presenta naturalmente polinización anemófila y entomófila, aunque esta última es la más frecuente debido a que los granos de polen contienen almidón y constituyen la principal fuente de alimento para algunos insectos, entre ellos, *Mystraps costaricensis*, *Elaidobius subvittatus* y *Elaidobius kamerunicus* (Coleoptera: Curculionidae) este último se ha identificado como el polinizador más eficaz en la palma aceitera (Prada, 1998).

Los adultos de *E. kamerunicus* permanecen en la inflorescencia masculina (2.000-3.000 por inflorescencia) durante la emisión del polen y se alimentan de las inflorescencias de varias palmas atraídos por el intenso olor a anís o hinojo, debido a que, las flores femeninas emiten este mismo olor cuando recién abren, los *kamerunicus* son atraídos por accidente y efectúan la polinización; no obstante, debido a que no tienen incentivo en las flores femeninas estos permanecen poco tiempo en cada una de ellas; aun así, la visita de los *kamerunicus* a las flores femeninas se inicia a las 7:00 a.m. y continúa hasta las 15:00 p.m., aunque se ha documentado que la máxima actividad está entre las 11:00 a.m. y 12:00 m (Tandon *et al.*, 2001a).

El viento puede tener una mayor importancia en la polinización conforme la planta crece en altura (Hardon & Turner, 1967; Syed, 1979). La acción del viento y de los insectos polinizadores para trasladar el polen en algunos casos es deficiente, y esta situación se ve más comprometida con los materiales genéticos de alta producción de racimos, que durante los primeros dos a tres años emiten muy pocas inflorescencias masculinas y son casi exclusivamente femeninas.

Tandon *et al.*, 2001a, afirman que la eficiencia de la polinización en condiciones naturales es del 100 %, aunque el movimiento del polen en el aire es limitado a un radio de 30 m a partir de su fuente. La densidad del polen en el aire es bajo (± 4 granos cm^{-2}) cuando la mayoría de las plantas están en la fase femenina, en cambio, cuando la fase masculina es la dominante, la densidad del polen se incrementa a más de 13 granos cm^{-2} .

Polinización asistida en el híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*

A diferencia de *Elaeis guineensis*, donde la polinización entomófila se lleva a cabo sin ninguna dificultad, el híbrido interespecífico presenta características que obstaculizan la polinización natural, y están asociadas con la baja producción de inflorescencias masculinas, por ende, la baja viabilidad del polen, lo que sugiere que hay un cierto desbalance genético (Alvarado, Bulgarelli, & Moya, n.d.; Meunier & Hardon, 1976) y la conformación de las inflorescencias femeninas que permanecen rodeadas de las bracteadas pedunculares, dificultando el ingreso del polen; debido a lo anterior, para garantizar la formación de racimos comercialmente aprovechables, es necesario realizar la polinización asistida, que consiste en la colecta y liberación controlada de polen sobre las inflorescencias femeninas en la fase de antesis.

Esta práctica requiere de personal entrenado, polen con un buen porcentaje de polinización, técnicas adecuadas de colecta y conservación del mismo e identificación de la inflorescencia femenina en la época receptiva, ya que es una actividad costosa.

A continuación se muestra un esquema resumido de las principales actividades que se tienen en cuenta para el proceso de polinización asistida en palma de aceite. En primer lugar, de acuerdo con las condiciones propias de la plantación, se calcula la cantidad de polen, personal requerido y la frecuencia de polinización y rendimiento. Otro aspecto importante es el método de obtención del polen y finalmente, la identificación en campo de las inflorescencias femeninas en etapa de antesis aptas para polinizar (Sánchez *et al.*, 2011) (Figura 24).

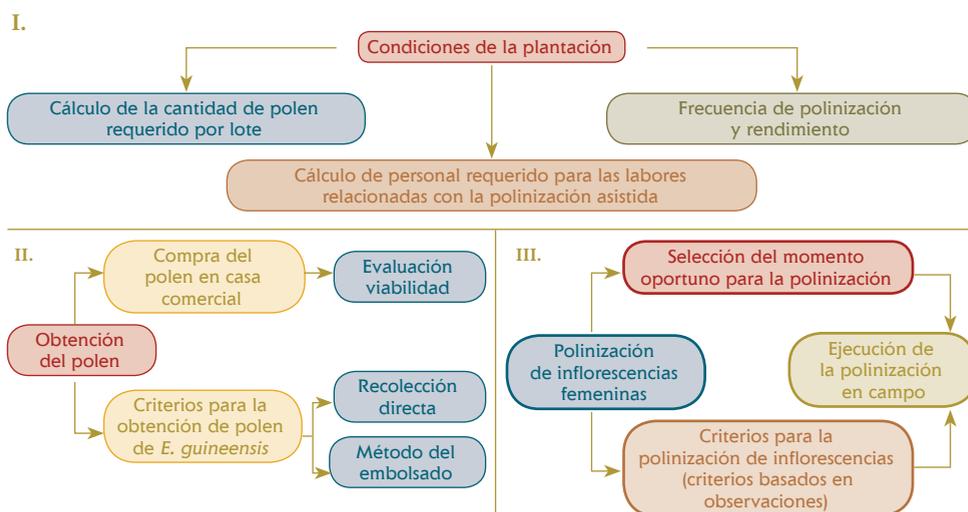


Figura 24. Etapas claves en el proceso de polinización asistida en palma de aceite (Adaptado de Sánchez *et al.*, 2011).

Germinación del polen y fecundación

Los lóbulos estigmáticos de la flor femenina producen antocianinas 24 horas después de la antesis, pero si los granos de polen llegan a la flor en este momento no germinan ya que esta ha perdido su receptividad (Figura 25).



Figura 25. Apariencia de la flor femenina 24 horas después de la antesis, nótese la producción de antocianinas en los lóbulos estigmáticos (color púrpura).
Foto: P. Hormaza (2010).

Los granos de polen germinan dos horas después de la polinización (Figura 26), los tubos polínicos crecen hacia la superficie de las papilas estigmáticas y entran hacia el canal del estigma alcanzando su porción media tres horas después y cinco horas después ingresa al estilo; la polinización induce la producción de exudados adicionales en el canal estigmático, los cuales alcanzan la región papilada del estigma; durante esta secreción postpolinización las membranas de las células del canal ricas en pectinas se descomponen y las células glandulares empiezan a vacuolarse como síntoma de degradación.

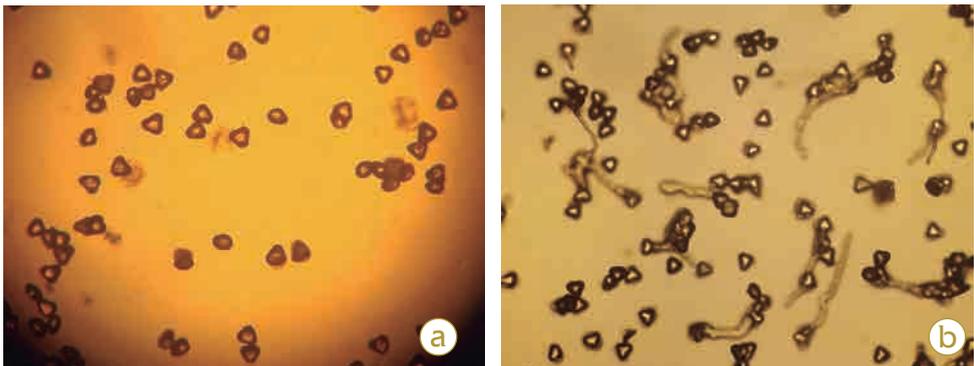


Figura 26. Granos de polen de la especie *Elaeis guineensis* a) sin germinar, b) germinados en donde se observa el tubo polínico. Fotos: P. Hormaza (2010)

Ocho horas después de la polinización el tubo polínico entra en el lóculo del ovario (Tandon *et al.*, 2001a), el cual se encuentra localizado en la base del carpelo, sus paredes están lignificadas y contienen algunos polifenoles y rafidios de oxalato de calcio (Uhl & Moore Jr, 1973), el ovario es de tipo ortótropo en el cual el funículo, la calaza y el micrópilo se hallan en la misma línea (Figura 27).

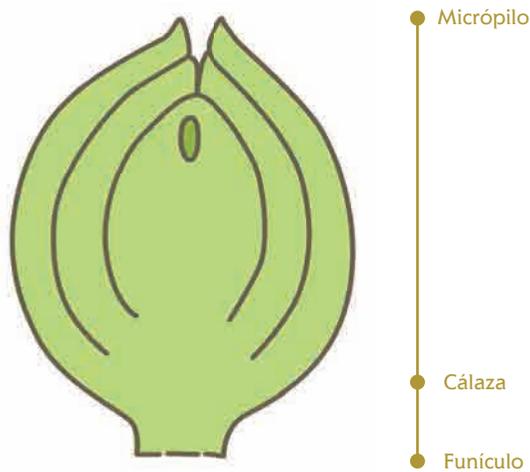


Figura 27. Ovario ortótropo.

El racimo y el fruto

En el ovario de la flor femenina solo uno de los óvulos de los tres carpelos es fecundado mientras que los otros desaparecen, en este momento se produce la doble fertilización y se da inicio a la formación del fruto y, posteriormente, a la semilla.

El fruto de la palma de aceite es una drupa sésil cuya forma puede ser esférica, ovoide o alargada y algo abultada en el ápice; en longitud varía alrededor de 2 a 5 cm o más (Corley & Tinker, 2003), cuyo mesocarpio es excepcionalmente rico en aceite (80 % de masa seca), haciendo de esta especie la de mayor rendimiento de aceite en el mundo (Murphy, 2009).

El fruto está conformado por el pericarpio, que consta del exocarpio o epidermo el cual es liso, duro y brillante. El mesocarpio o pulpa es de color amarillo-anaranjado, cuyo parénquima es rico en aceite, el endocarpio o cuesco que protege la almendra, es duro, esclerificado, de color marrón oscuro a negro, su consistencia y grosor es una característica varietal y, finalmente, se encuentra el endospermo que ocupa toda la cavidad del endocarpio (Figura 28).



Figura 28. Partes del fruto. a) Apariencia externa de un fruto en desarrollo y b) corte transversal del fruto con sus partes.

El endospermo está compuesto por el tegumento, albumen y el embrión. El tegumento es delgado y adherido al albumen, que es cartilaginoso y rico en aceite (de donde se extrae el aceite de palmiste), en cuyo centro hay una hendidura o cavidad central. El embrión es lineal de 4 a 5 milímetros de longitud, alojado en una pequeña cavidad del albumen.

Una primera clasificación de los frutos está dada por dos variables: la coloración externa del exocarpio y por el grosor del endocarpio (cuesco). La clasificación por color del exocarpio comprende dos colores: uno verde oscuro o claro presente en las especies *E. oleifera*, en algunos materiales de *E. guineensis* y en el híbrido interespecífico OxG. Este tipo de fruto permanece verde en su estadio inmaduro y se torna amarillo o anaranjado intenso al llegar a su madurez y es denominado virescens. El otro tipo de fruto presenta una coloración negro rojizo en el exocarpio en su etapa inmadura y se torna de color vinotinto al llegar a su madurez, llamado nigrescens y se presenta en la mayoría de los materiales de la especie *E. guineensis*. En todos los casos el color del mesocarpio siempre es amarillo intenso o naranja (Figura 29).



Figura 29. Clasificación de frutos según la pigmentación del exocarpio, se observa la coloración del fruto inmaduro y maduro (a) Frutos virescens especie *E. oleifera*. b) Híbrido interespecífico OxG, frutos inmaduros de coloración verde claro o intenso y frutos maduros de coloración amarillo intenso a naranja intenso. (c) Frutos nigrescens de la especie *E. guineensis*, frutos inmaduros de color negro rojizo y frutos maduros de coloración vinotinto o rojo muy oscuro. Fotos: P. Hormaza (2010)

La clasificación por el grosor del endocarpio es reconocida por las diferencias en el espesor del cuesco, las cuales están controladas por un solo gen (Beirnaert & Vanderweyen, 1941), de acuerdo con lo anterior se clasifican en palmas tipo *Dura* que presentan un cuesco grueso, palmas *Pisciferas* que no tienen cuesco y palmas *Tenera*, provenientes del cruzamiento de palmas *Dura x Piscifera*, y cuyo cuesco es intermedio de sus parentales (R. Corley & Tinker, 2003), otra característica de las palmas *Tenera* es que, además de tener un cuesco delgado, también presentan un anillo de fibras alrededor de este que no aparecen en las palmas *Dura* (Beirnaert & Vanderweyen, 1941) (Figura 30 y Tabla 3).

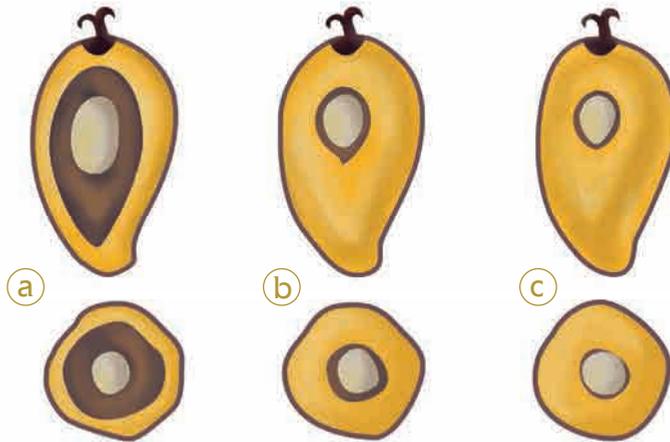


Figura 30. Clasificación del fruto por el grosor del endocarpio o cuesco: a) *Dura*, b) *Tenera* y c) *Piscifera*.

Tabla 3. Clasificación de frutos de acuerdo con la coloración del exocarpio y grosor del cuesco.

Variable	Terminología	Características
Tipo de frutos color externo	<i>Nigrescens</i>	Antocianina en el exocarpio, ápice negro o pardo en el fruto.
	<i>Rubro-nigrescens</i>	Ápice pardo que rara vez abarca la mitad del fruto, base anaranjada.
	<i>Rutilo-nigrescens</i>	Ápice negruzco, a menudo abarca más de la mitad del fruto, base roja más clara.
	<i>Virescens</i>	Sin antocianina en el exocarpio, fruto verde cuando está inmaduro, anaranjado con puntas verdes cuando está maduro.
Color del mesocarpio	<i>Albescens</i>	Color amarillo pálido que indica bajo contenido de caroteno.
Morfología del fruto	Poisoni, doble envoltura	Fruto rodeado de hasta seis carpelos suplementarios carnosos derivados de los primordios estaminales.

Continúa en la página siguiente

Variable	Terminología	Características
Formas de los frutos y espesor del cuesco	<i>Dura</i>	El porcentaje de mesocarpio de la fruta se encuentra en el rango de 35-50 %. El contenido de aceite del mesocarpio en proporción al peso del racimo es bastante bajo, de 17-18 %. Presenta cuesco grueso de 2-8 mm, no presenta anillo fibroso alrededor de la nuez.
	<i>Piscifera</i>	Sin cuesco, generalmente con esterilidad femenina. La mayoría de los racimos abortan en los primeros estados de desarrollo.
	<i>Tenera</i>	Presenta un endocarpio delgado, de 0,5-4 mm de grosor. La proporción de mesocarpio es relativamente alta, entre 60-96 %. Producen más racimos que las anteriores, aunque más pequeños. La proporción de aceite por racimo se encuentra entre 22-25 %.

Una segunda clasificación de los frutos está dada por los parámetros de formación del fruto y su posición en la raquila, de acuerdo con su formación, los frutos se catalogan en:

- **Frutos normales o fértiles:** que presentan cuesco y almendra desarrollados.
- **Frutos partenocárpicos:** que son producto del desarrollo de las paredes del ovario, pero sin mediar fecundación, son de menor tamaño que los frutos fértiles y el contenido de aceite es menor, además no contienen semilla, es decir, no tienen cuesco ni almendra.
- **Abortos:** son flores no fecundadas y que no se desarrollan como frutos partenocárpicos. Se encuentran en la parte adaxial de la raquila, debajo de los frutos internos y partenocárpicos en la parte más basal de la raquila, su coloración generalmente es amarillo claro y su tamaño es pequeño.

Y según su posición se clasifican en:

- **Frutos externos:** se encuentran ubicados en la parte apical de la raquila, son anchos y largos. En la especie *E. guineensis* su coloración es vinotinto o rojo intenso cuando entran a la madurez, su forma es más abultada en el ápice del fruto y de mayor tamaño que los frutos internos. En los híbridos interespecíficos, son alargados en el ápice si las raquillas están en la parte superior o central del racimo, o achatados si ellas se encuentran en la parte inferior del racimo; en *E. guineensis* los frutos externos de cada raquila son los primeros que maduran, mientras que en el híbrido interespecífico, son los últimos en madurar.

Los frutos internos son más pequeños y de coloración más clara en *E. guineensis*, están ubicados en la parte basal de la espiga y son los últimos en madurar (Figura 31).

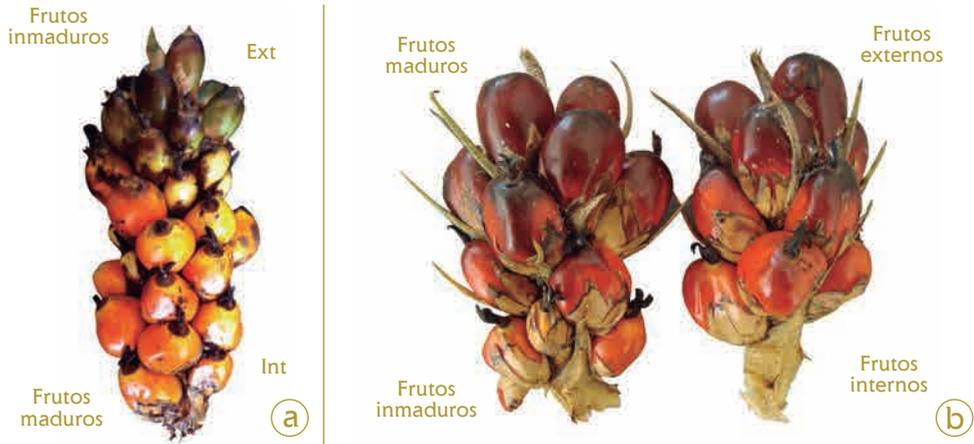


Figura 31. Progreso de maduración de los frutos en la raquila y clasificación de los frutos de acuerdo con su posición a) Raquila del híbrido interespecífico O x G cuya maduración de los frutos es de forma acropétala b) Raquila de *E. guineensis* cuya maduración de los frutos es de forma basipétala. Fotos: Hormaza, 2010

Las estructuras del racimo no difieren ostensiblemente de las inflorescencias femeninas; es así como los racimos en su parte interior están conformados por un raquis o pedúnculo, el cual es el eje central en donde se insertan las raquillas o espiguillas y sobre estas se insertan, en forma de espiral, los frutos y las flores abortadas. Los frutos insertados en las espiguillas rodean el raquis en forma helicoidal, conformando los racimos, con un peso variable entre 5 a 40 kg. Un racimo presenta un peso promedio de 25 kilos, la cantidad media de frutos por racimo es de 1.000-3.000 (León, 1987).

Maduración de frutos y racimos

En condiciones de campo, en promedio, un fruto de palma de aceite completa su desarrollo y maduración en aproximadamente 160 días. Al igual que otras drupas, se ha observado un crecimiento bifásico, con un incremento inicial en la masa y el tamaño del fruto entre los 30 y 60 días después de la polinización (DDP). En ella el pericarpio y la semilla aumentan de tamaño y peso, el cuesco y la almendra alcanzan su máximo volumen, pero el embrión se desarrolla muy poco durante esta fase. Posteriormente, se presenta un período de rezago de 40 días (60-100 DDP) en donde la tasa de crecimiento total es reducida, iniciándose un endurecimiento rápido del cuesco y el embrión obtiene su tamaño máximo y, finalmente, el fruto muestra un nuevo incremento en su masa en particular entre los 140 y 160 DDP, acompañado de un aumento en el volumen celular y espacios intercelulares de la pulpa (Cayon, 1996; Tranbarger *et al.*, 2011).

Durante los primeros estados de desarrollo del fruto, el mesocarpio está constituido principalmente por carbohidratos; conforme la madurez progresa, su contenido disminuye y a la vez, aumenta el de aceite y carotenoides (Sterling y Alvarado, 1993). A medida que el fruto se desarrolla son sintetizados nuevos productos, como clorofila y carotenos, los cuales pueden ser almacenados o degradados. En los frutos maduros la clorofila ya ha completado su función mediadora en la síntesis de carbohidratos y comienza a degradarse. Los carotenos, por el contrario, continúan su síntesis alcanzando la concentración máxima cuando el fruto está completamente maduro, determinando los cambios de coloración típicos de los frutos maduros (Cayón, 1999). En cuanto a la formación de aceite para la especie *E. guineensis*, (Ruiz, 2005) concluyó que en la Zona Norte colombiana la síntesis de aceite en el mesocarpio se concentra entre 16 y 20 semanas después de anthesis, etapa en la que sucede la maduración del fruto. Es así que para la cosecha del racimo, el desprendimiento de un fruto es el parámetro establecido como un criterio de corte indicando la finalización del estado de maduración.

Características de la escala fenológica BBCH extendida para la palma de aceite

En busca de la estandarización de la descripción de las fases de crecimiento de las plantas se han hecho varias propuestas, la primera por Fleckinger, (1948), quien utilizó una combinación de números y letras para la descripción del desarrollo de inflorescencias en frutales. Posteriormente, (Zadoks, Chang, & Konzak, 1974) publicaron el primer código decimal para estandarizar la descripción de estadios de desarrollo homólogos de diferentes cultivos usando los mismos códigos (Cautin & Agusti, 2005). En 1989 (Bleiholder, H., T. Van Den Boom, P. Langeluddcke & Stauss, 1991) propusieron la escala BBCH, que es un sistema para la codificación uniforme e identificación fenológica de estadios de crecimiento, para todas las especies de plantas mono y dicotiledóneas. Se usa un código decimal que se divide básicamente entre los estadios de crecimiento principales y secundarios de las plantas, describiendo el proceso de desarrollo de los mismos. Esta codificación es el resultado de un grupo de trabajo conformado por el Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura de Alemania (BBA), el Instituto Federal de Variedades de Alemania (BSA), la Asociación Alemana de Agroquímicos (IVA), el Instituto para Horticultura y Floricultura en Grossbeeren/Erfurt, Alemania (IGZ) y la colaboración de científicos de otras instituciones.

La escala BBCH se basa en un código decimal que identifica el desarrollo de las plantas con estadios principales y secundarios y ha sido aceptado ampliamente en los últimos años, contándose con su adaptación a los frutales de hueso y a otros cultivos (Hess *et al.*, 1997). Dependiendo de cada especie pueden existir diferencias en el proceso de desarrollo o suceder que determinados estadios no se presenten,

también puede que los estadios principales de crecimiento no ocurran en secuencia estricta o desarrollarse de forma paralela.

Principios básicos de la escala BBCH

- Para la identificación de los estadios fenológicos las características deben ser claramente reconocibles para su diferenciación.
- La característica debe presentarse por lo menos en el 50 % de la población de plantas.
- Los estadios principales se codifican en dígitos de 0 a 9.
- Los estadios secundarios se codifican en dígitos de 0 a 9 y pueden representar un número ordinal o un valor porcentual (Figura 34)
- Los procesos de postcosecha o almacenamiento se denotan con el código 99.
- El tratamiento a la semilla antes de la siembra corresponde a 00.
- Los estadios están ubicados en forma ascendente de acuerdo con la madurez de los órganos.
- Dos o más estadios pueden ocurrir en forma paralela y se utiliza una raya diagonal (/) para denotar la presencia de ellos (por ejemplo 16/22).
- La escala aplica tanto para plantas propagadas en forma asexual como sexual.

Estadios de crecimiento principales

En la escala BBCH el ciclo completo de desarrollo de las plantas se subdivide en diez fases principales de desarrollo claramente distinguibles en un código decimal, el cual, se divide entre los estadios de crecimiento principal y secundario. Los estadios principales de crecimiento son descritos usando números del 0 al 9 en orden ascendente (Bleiholder, H., T. Van Den Boom, P. Langeluddcke and Stauss, 1991). Los estadios secundarios son descritos con dígitos del 0 al 9; usados para describir con mayor precisión fases cortas de desarrollo, que ocurren durante un determinado estadio principal de desarrollo. En el caso de la escala BBCH extendida para palma de aceite, que introduce un tercer dígito (de 0 a 9) entre los dos anteriores (mesoestadio). Los mesoestadios se han utilizado para hacer mayor especificidad (Figura 33). El número 0 se usa para hacer referencia a la única fase generativa o reproductiva de esta especie, es decir, al desarrollo de las inflorescencias, la floración y al desarrollo y maduración de los frutos.

La codificación de la escala BBCH en palma de aceite usa 8 de 10 estadios principales de la escala, inicia con el estadio 0 germinación y emergencia (semilla seca-inicio del hinchamiento del embrión y germinación); el estadio 1 (diferenciación y desarrollo hojas) hasta la senescencia (estadio 9), que se determinaron por medio de observaciones en campo y se corroboró lo reportado en la literatura; en fase de vivero y de desarrollo en campo. Tres estadios principales de crecimiento son

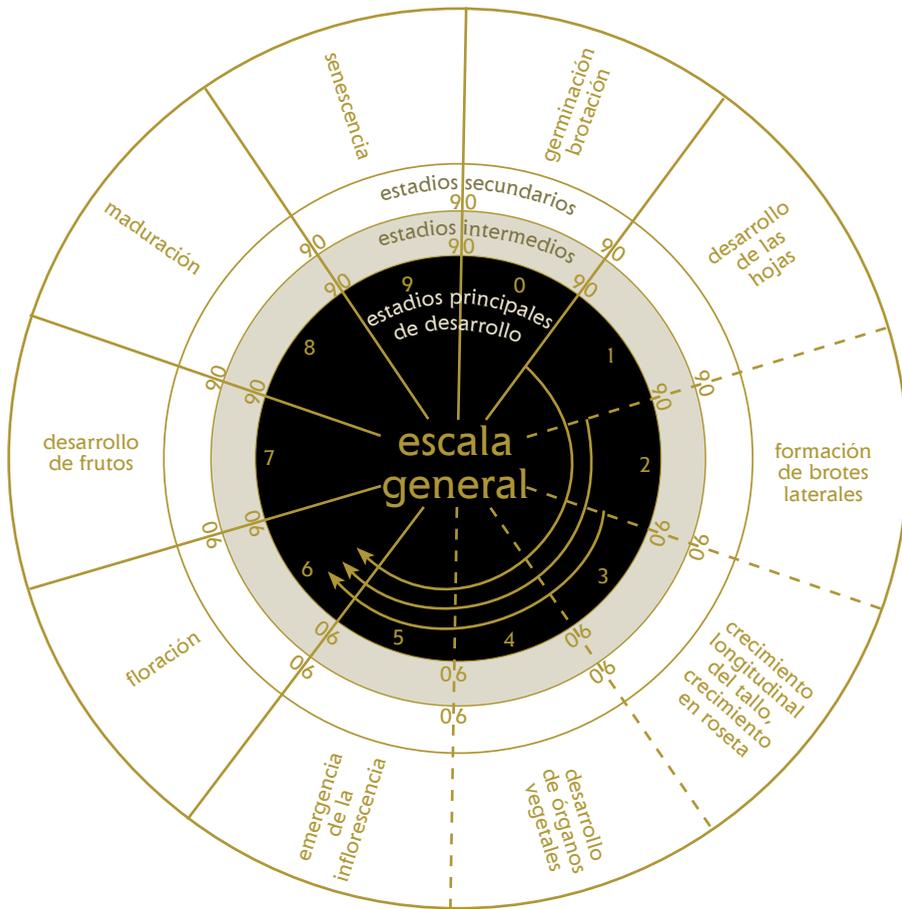


Figura 32. Representación gráfica de la estructura general de la escala BBCH, en ella se aprecian las etapas principales de crecimiento (principal growth stages), mesoestadios (mesostages) y las etapas de crecimiento secundario (secondary growth stages) tomado de (Meier *et al.*, 2009).

asignados al desarrollo vegetativo, los cuales describen el desarrollo del embrión (estadio 0), desarrollo de la hoja tanto en fase de vivero como en plantas en sitios definitivos (estadio 1), y la elongación y engrosamiento del estípite (estadio 3), complementándose con los siguientes estadios reproductivos; emergencia y crecimiento de la inflorescencia (estadio 5). Etapa de floración (crecimiento de botones florales-polinización) (estadio 6); crecimiento y desarrollo de fruto (estadio 7), maduración de fruto (estadio 8) y senescencia (estadio 9).



1
Estadio principal
Desarrollo de la
hoja

5
Mesoestadio
Hoja flecha en
campo

5
Estadio
secundario
50 % de apertura

Figura 33. Estructura de la escala de tres dígitos. Apertura del 50 % de los foliolos superiores de la hoja flecha, los foliolos de la parte baja de la hoja aún se encuentran plegados. Foto: S. Lozano (2009).

Bibliografía

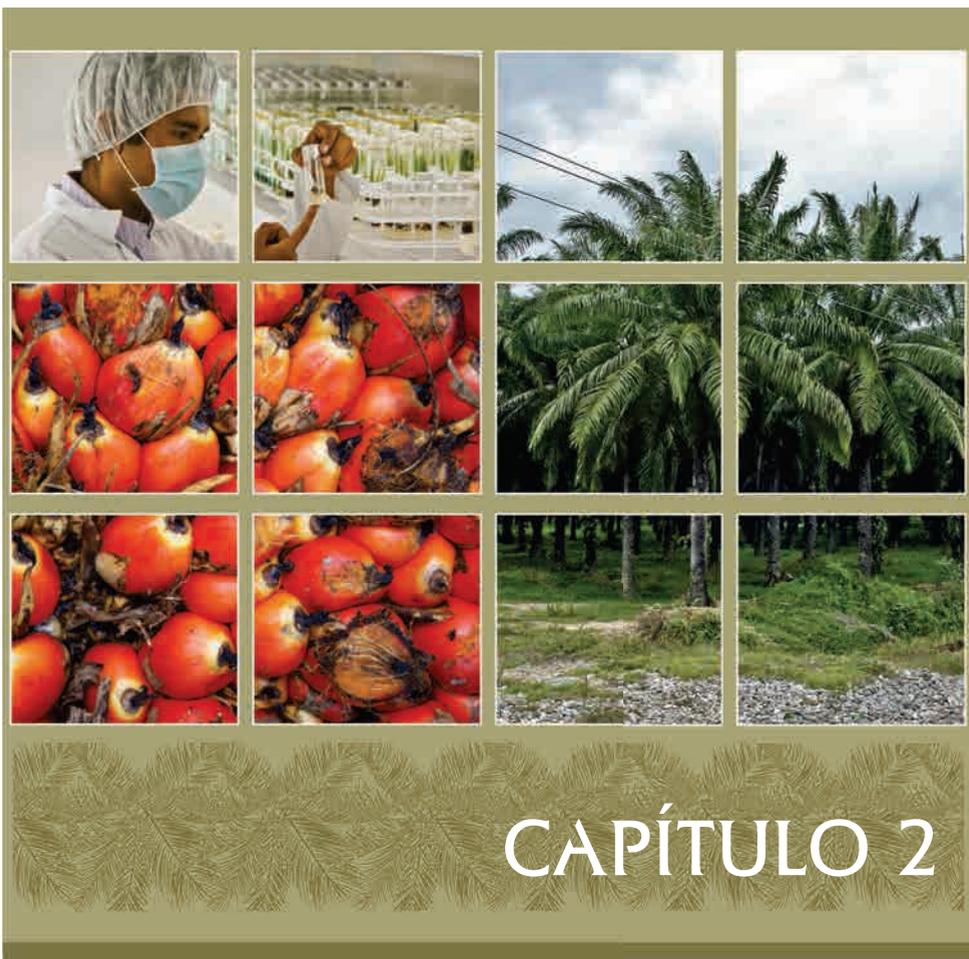
- Adam, H., Jouannic, S., Escoute, J., Duval, Y., Verdeil, J.-L., & Tregear, J. W. (2005). Reproductive developmental complexity in the African oil palm (*Elaeis guineensis*, Arecaceae). *American Journal of Botany*, 92(11), 1836-1852. doi:10.3732/ajb.92.11.1836.
- Alang, Z. C., Moir, G. F. J., & Jones, L. H. (1988). Composition, degradation and utilization of endosperm during germination in the oil palm (*Elaeis guineensis*). *Annals of Botany*, 61, 261-268.
- Alvarado, A., Bulgarelli, J., & Moya, B. (n.d.). Germinación del polen en poblaciones derivadas de un híbrido entre *Elaeis guineensis* Jacq. y *E. oleifera* HBK Cortes. *ASD papers*, 20, 35-36.
- Anon. (1961). Notes on the botany of the oil palm 3. The stem and the stem apex. *J.W. Afr. Inst. Oil Palm Res*, 3, 277-279.
- Beirnaert, A. (1935). Introduction a la biologie florale du palmier a huile (*Elaeis guineensis* Jacquin). Serie scientifique de Institut National pour l'Etude. *Agronomique du Congo Belge*, 5, 3-42.
- Beirnaert, A., & Vanderweyen, R. (1941). *Contribution à l'étude génétique et biomé-*

- trique des variétés d'Elaeis guineensis jacquin. Publications de l'Institut National pour l'Étude Agronomique, (Vol. Série Scie). Belgian Congo.*
- Beule, T., Cros, D., Omore, A., Nodichao, L., Nouy, B., Tregear, J. W., Cirad, I. R. D., et al. (2011). Environmental regulation of sex determination in oil palm : current knowledge and insights from other species. doi:10.1093/aob/mcr151.
- Biradar, N. (1978). An unusual inflorescence in *Elaeis guineensis*. *Principes*, 22, 115.
- Bleiholder, H., T. Van Den Boom, P. Langeludcke and Stauss, R. (1991). Codificación uniforme para los estadios fenológicos de las plantas cultivadas y de las malas hierbas. *Phytoma*, 28, 54-56.
- Cautin, R., & Agusti, M. (2005). Phenological growth stages of the cherimoya tree (Mill.). *Scientia Horticulturae*, 105(4), 491-497. doi:10.1016/j.scienta.2005.01.035.
- Cayon, G. (1996). Aspectos fisiológicos y bioquímicos de la maduración de los frutos de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Primer curso internacional sobre el cultivo de la palma de aceite* (pp. 294-306). Bogotá: Cenipalma.
- Cayón, G. (1999). Apuntes sobre fisiología del crecimiento y desarrollo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq). *Palmas*, 20(3), 45-54.
- Corley, R. (1976). Inflorescence abortion and sex differentiation. *Developments in crop science, vol. 1, Oil palm research* (pp. 37-54). Amsterdam, Netherlands.: Elsevier.
- Corley, R. H., & Tinker, P. (2003). *The oil palm* (Fourth edi., p. 562). Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Corley, R., & Tinker, P. (2003). *The oil palm* (Fourth edi., p. 562). Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Corley, R. H. V. (1976). Photosynthesis and productivity. In R. H. V Corley, J. Hardon, & B. Wood (Eds.), *oil palm research* (pp. 55-76). Amsterdam: Elsevier.
- Dransfield, J., & Beentje, H. (1996). *Lexicon palmarum* (Editions C., p. 47).
- Dransfield, J., & Uhl, N. (2008). *Genera Palmarum. The evolution and classification of palms* (Second edi., p. 732). Kew Publishing.
- Dransfield, J., & Uhl, N. (1998). *Palmae. Families and genera of vascular plants, flowering plants: monocotyledons* (pp. 306-389). Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Ellis, R. H., Hong, T. D., Robert, E. H., & Soestisna, U. (1991). Seed storage behaviour in *Elaeis guineensis*. *Seed Science Research*, 1, 99-104.
- Fedepalma. (2012). *Anuario estadístico. La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo* (p. 166). Bogotá.
- Fleckinger, J. (1948). Les stades vegetatifs des arbres fruitiers en rapport avec les traitements. *Pomologie Francaise* (pp. 81-93). Langlois.
- Forero, D. C., Hormaza, P., & Romero, H. M. (2012). Phenological growth stages of African oil palm (*Elaeis guineensis*). *Annals of Applied Biology*, 160(1), 56-65. doi:10.1111/j.1744-7348.2011.00520.
- Gonzales, R., Bleiholder, H., Hack, H., & Meier, U. (2002). Proposal for codification of the phenological cycle of edible musaceae. *Acorbat. Memorias XV reunión. Asociación de Bananeros*

- de Colombia. *AUGURA*. (pp. 412-417). Cartagena de Indias.
- Govaerts, R., & Dransfield, J. (2005). *World Checklist of Palms* (p. 240). Royal Botanic Gardens Kew.
- Guerrero, J., Bastidas, S., & Garcia, J. (2011). Estandarización de una metodología para germinar semillas del híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* H. B. K. x *Elaeis guineensis* J. *revista de ciencias agrícolas*, XXVIII(1), 132-146.
- Hardon, J., & Turner, P. (1967). Observations on natural pollination in commercial plantings of oil palm (*Elaeis guineensis*) in Malaysia. *Experimental Agriculture*, 3, 105-116.
- Hartley, C. (1988). *The oil palm* (p. 761). New York: Longmans Green.
- Henry, P. (1955). Morphologie de la feuille d'*Elaeis* au cours de croissance. *Rev. gén. Bot*, 32, 66-77.
- Hess, M., Blefholderj, H., Buhrg, L., Eggers, T., Hack, H., & Stauss, R. (1997). Use of the extended BBCH scale-general for the descriptions of the growth stages of mono and dicotyledonous weed species. *Weed Research*, 37, 433-441.
- Ho, S., & Chiang, K. (1999). Replanting strategies for oil palm in Sabah. *The Planter*, 75, 9-20.
- Hormaza, P., Mesa, E., & Romero, H. (2012). Phenology of the oil palm interspecific hybrid *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*. *Scientia Agrícola*.
- Hussey, G. (1958). An analysis of the factors controlling the germination of the seed of the oil palm. *Annals of Botany*, 22, 259-284.
- Jourdan, C. (1995). *Modelisation de l'architecture et du developpement du systeme racinaire du palmier a huile*. Th. Doct., Univ. Montpellier.
- Jourdan, Christophe, & Hervé, R. (1997). Architecture and development of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) root system. *Plant and Soil*, 189, 33-48.
- Latiff, A. (2000). The biology of the genus *Elaeis*. *Advances in oil palm research volume I* (pp. 19-38).
- Le Guen, V., Outtara, S., & Jacquemard, J. (1990). Selection du palmier a huile en vue d'amelioration la facilite de recolte. premiers resultats. *Oleagineux*, 45, 523-531.
- Legros, S., Mialet-Serra, I., Caliman, J., Siregar, F., Clement-Vidal, A., & Dingkuhn, M. (2009). Phenology and growth adjustments of oil palm a (*Elaeis guineensis*) to photoperiod and climate variability. *Annals of Botany*, 104, 1171-1182.
- Legros, S., Mialet-Serra, I., & Caliman JP, et al. (2009). Phenology, growth and physiological adjustments of oil palm (*Elaeis guineensis*) to sink limitation induced by fruit pruning. *Annals of Botany*, 104: 1183-1194.
- Legros, S., Mialet-Serra, I., & Vidal, A. et al. (2009). Role of transitory carbon reserves during adjustment to climate variability and source-sink imbalances in oil palm (*Elaeis guineensis*). *Tree physiology*, 29, 1199-1211.
- León, J. (1987). *Botánica de los cultivos tropicales* (Segunda Ed., pp. 50-56). San José de Costa Rica: IICA.
- Meier, U., Bleiholder, H., Feller, C., Hack, H., Lancashire, P., Schnock, U., Staub,

- R., et al. (2009). The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants-history and publications-. *JOURNAL FÜR KULTURPFLANZEN*, 61(August 2008), 41-52.
- Meunier, J., & Hardon, J. (1976). Interspecific hybrids between *Elaeis guineensis* and *Elaeis oleifera*. *Oil Palm Research*. New York: Elsevier.
- Mok, C.K. (1982). Heat requirement for breaking dormancy of the oil palm seeds after storage under different conditions. In E. Pushparajah & P. S. Chew (Eds.), *The Oil Palm in Agricultural Development in the Eighties* (pp. 197-206). Kuala Lumpur, Malaysia: The Incorporated Society of Planters.
- Murphy, D. (2009). Oil palm: future prospects for yield and quality improvements. *Lipid Technol*, 21, 257-260.
- Network European of Palm Scientists. (2012). Glossary of Palm Terms.
- Patiño, U. M. (1977). El corozo o noli (*Elaeis oleifera* (HBK) Cortes ex Wessels Boer), recurso natural oleaginoso de Colombia. *Cespedesia*, VI(21-22), 121.
- Peláez, E. E., & Ramírez, D. P. (2004). Caracterización fisiológica de *Palma Africana* (*Elaeis guineensis* Jacq.), *Nolí* (*Elaeis oleifera* H.B.K Cortes) e híbridos interespecíficos *Elaeis oleifera* H.B.K x *Elaeis guineensis* Jacq. Universidad Nacional de Colombia.
- Periasamy, A., Gopapal, K., & Soh, A. C. (2002). Productivity improvements in seed processing techniques for commercial oil palm seed production. *The Planter*, 78, 429-442.
- Prada, M. (1998). Efectividad de dos especies del género *Elaeodobius* (Coleóptera: curculionidae) como polinizadores en palma aceitera. *Bioagro*, 10(1), 3-10.
- Raygada, R. (2005). Manual técnico para el cultivo de la palma aceitera. Lima: Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida Sin Drogas (Devida); proyecto de desarrollo alternativo Tocache-Uchiza (Prodatu).
- Rees, A. R. (1963). Factors affecting the germination of oil palm seeds under natural conditions. *J. W. Afr.Inst Oil Palm Research*, 4, 201-207.
- Ress, A. R. (1962). High-temperature pre-treatment and the germination of seed of the oil palm, *Elaeis guineensis* (Jacq.). *Ann. Bot*, 26, 569-581.
- Ruiz, R. (2005). Desarrollo del racimo y formación de aceite en diferentes épocas del año según las condiciones de la Zona Norte. *Palmas*, 26(4), 39-53.
- Siew, N., Von Uexkull, H., & Hardter, R. (2003). Botanical aspects of the oil palm relevant to crop management. Oil palm: Management of large and sustainable yields.
- Siew, W. (2000). Analysis of palm and palm kernel oils. In Y. Basiron, B. Jalani, & K. Chan (Eds.), *Advances in oil palm research Vol 2* (pp. 895-934). Kuala Lumpur, Malaysia: MPOB.
- Syed, R. (1979). Studies on oil palm pollination by insects. *Bulletin of Entomological Research*, 69, 213-224.
- Sánchez, A. (1982). *Curso básico de capacitación en el cultivo de la palma de aceite*. San José, Costa Rica.
- Sánchez, A., Daza, E., Ruiz, R., & Romero, H. M. (2011). Polinización asistida en palma de aceite. Bogotá.

-
- Tandon, R., Manohara, T., Nijalingappa, B., & Shivanna, K. (2001a). Pollination and Pollen-pistil Interaction in Oil Palm, *Elaeis guineensis*. *Annals of botany*, 87, 831-838. doi:10.1006/anbo.2001.1421
- Tandon, R., Manohara, T., Nijalingappa, B., & Shivanna, K. (2001b). Pollination and Pollen-pistil Interaction in Oil Palm, *Elaeis guineensis*. *Annals of Botany*, 87(6), 831-838. doi:10.1006/anbo.2001.1421
- Tomlinson, P. (1990). *The Structural Biology of Palms* (p. 489). Oxford: Oxford University Press.
- Torres, M., Rey, L., Gelves, F., & Santacruz, L. (2004). Evaluación del comportamiento de los híbridos interespecíficos *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*, en la plantación Guaicaramo S.A. *Palmas*, 25 (Especial), 350-357.
- Tranbarger, T. J., Dussert, S., Joët, T., Argout, X., Summo, M., Champion, A., Cros, D., et al. (2011). Regulatory mechanisms underlying oil palm fruit mesocarp maturation, ripening, and functional specialization in lipid and carotenoid metabolism. *Plant physiology*, 156(2), 564-84. doi:10.1104/pp.111.175141
- Turner, P., & Gillbanks, R. (2003). *Oil Palm cultivation and management* (p. 33). Kuala Lumpur, Malaysia: The Incorporated Society of Planters.
- Uhl, N., & Moore Jr, H. (1973). The protection of pollen and ovules in palms. *Principes*, 17, 111-114.
- Vallejo, R. (1976). *Estudio de poblaciones espontáneas de la palma Nolí *Elaeis oleifera*. (H.B.K. Cortes) en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.
- Van Heel, W., Breure Cornelius, J., & Menéndez, T. (1987). The early development of inflorescences and flowers of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seen through the scanning electron microscope. *Blumea*, 32(1).
- Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *weed Research*, 14, 415-421.
- Zambrano, J. (2004). Los híbridos interespecíficos *Elaeis oleifera* H.B.K x *Elaeis guineensis* Jacq. Una alternativa de renovación para la Zona Oriental en Colombia. *Palmas*, 25 (Especial), 339-349.



CAPÍTULO 2

Escala BBCH para la descripción del desarrollo vegetativo en *Elaeis guineensis* Jacq., *Elaeis oleifera* y el híbrido interespecífico OxG

Autores

Diana Carolina Forero Hernández

Leidy Paola Moreno Caicedo

Rodrigo Ruíz Romero

Paola Andrea Hormaza Martínez

Hernán Mauricio Romero Angulo

Estadio de crecimiento principal 0: Germinación y emergencia

El estadio 000 en palma de aceite corresponde al de la semilla seca (Figura 34). En los materiales de *Elaeis guineensis* Jacq., tipo *Dura*, el cuesco es grueso (2-8 mm), liso y de color marrón oscuro (Siew, 2000). Por el contrario, los materiales tipo *Tenera* poseen un cuesco más delgado (0,5-4 mm) de color marrón oscuro y presenta fibras que se adhieren longitudinalmente a este, formando un mechón en la base. En los materiales híbridos las semillas tienen formas que van de ovoides a angulares, de color marrón oscuro y el endocarpio está cubierto por una serie de fibras reticuladas que rodean los poros germinales apicales, su cuesco es más delgado que las semillas de *E. guineensis* (0,5-2,5 mm) (Chan, L. y Romero, H. 2010, comunicación personal).



Figura 34. Estadio 000. a) Semilla seca material *Tenera* (*Elaeis guineensis* Jacq.). Foto: Fedepalma, CD-ROM interactivo. El cultivo de la palma de aceite: guía general para el nuevo palmicultor. b) Semilla seca del híbrido (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*). Fotos: L. Chan (2010).

Después del almacenamiento o el secado de las semillas, estas se colocan en una bolsa de polietileno a una temperatura de 38 a 40 °C, durante un período igual o mayor a 60 días, de acuerdo con los requerimientos de cada material o especie, esto con el fin de romper la dormancia de la semilla. Luego del tratamiento con

calor las semillas se sumergen en agua por dos días, se secan a temperatura ambiente para retirar el exceso de humedad y se colocan de nuevo en la bolsa plástica, la germinación comienza siete a diez días después del almacenamiento a temperatura ambiente y continúa por 30 a 40 días en donde se alcanza entre un 85 a 90 % de germinación.

Una vez se inicia la imbibición de la semilla, uno a dos días, se observa que está hinchada y aproximadamente diez días después el embrión se alarga, brota a través del poro germinativo (Jacome & Carvalho, 2008) y se desprende el tapón de fibra u opérculo. Este estadio corresponde al 'punto blanco' o estadio 001 (Figura 35).

Las semillas del híbrido interespecífico OxG poseen un porcentaje de germinación bajo (30 %), debido a esto se induce el desarrollo del embrión utilizando una temperatura de 38 a 39,5 °C durante 105 días con un contenido de humedad del 18 al 23 % y una oxigenación máxima posible (IICA, 1991; Guerrero, Bastidas, & García, 2011). Estos autores reportan que la germinación de las semillas de híbrido OxG comienza 15 días más tarde que las de *E. guineensis*, además de que se presentan germinaciones entre los 41 y 61 días después, indicando que la latencia de la semilla es más larga y el vigor germinativo más bajo. De igual manera, bajo condiciones de laboratorio, se reporta que la pérdida de humedad en las semillas OxG disminuye la viabilidad del embrión (a nivel de haustorio y radícula), y este pierde el enlace con el endospermo que aporta los nutrientes necesarios para el proceso de germinación (Villa *et al.*, 2007 y Rendón, 2008 citados por Guerrero *et al.*, 2011).

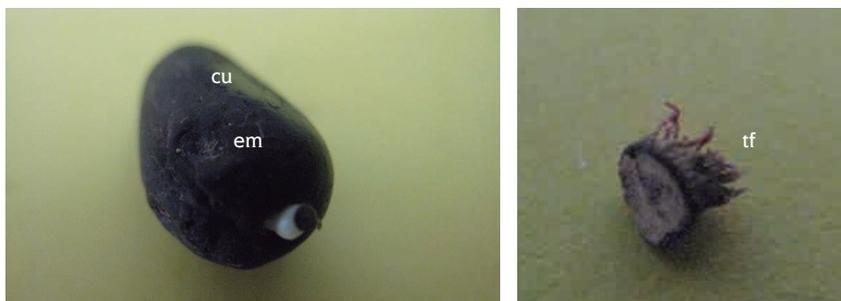


Figura 35. Estadio 001 o semilla en punto blanco mostrando cu: (cuesco), em (embrión) y tf (tapón de fibra) (opérculo) en el híbrido interespecífico OxG. Fotos: L. Chan (2010).

Durante el proceso de germinación el embrión emergente forma un botón denominado hipocólito, el cual adquiere una protuberancia plumular, mientras que desde el extremo del mismo emerge la radícula. La parte basal es el haustorio, que cumple la función de transportar los nutrimentos del endospermo (Corley & Tinker, 2003). El tipo de germinación descrita se clasifica como adyacente-ligular (Dransfield & Uhl, 2008), es decir, que a medida que el cotiledón se expande solo empuja una por-

ción del embrión por fuera de la semilla y, como resultado, la plántula se desarrolla contigua a la semilla, el embrión forma una lígula y la plúmula sobresale de esta.

En el estadio 040 se observa la diferenciación de la plúmula y radícula 10 a 14 días después de la germinación (Turner & Gillbanks, 2003). Los dos órganos emergen a través de un cilindro formado por una lígula (*li*) (hoja modificada en forma de vaina que sirve de protección) (Figura 36).



Figura 36. Estadio 004. Inicio de la diferenciación de la plúmula (*pl*) y la radícula (*ra*) del híbrido OxG. Foto: P. Hormaza (2010).

En el estadio 005 se forman las raíces adventicias por encima de la unión de la radícula con el hipocófito y dan origen a raíces secundarias antes de que haya salido la primera hoja (Corley & Tinker, 2003) (Figura 37).

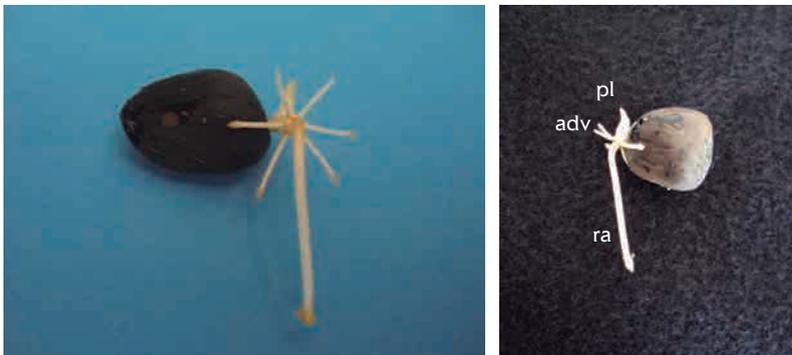


Figura 37. Estadio 005. Formación de raíces adventicias (*adv*) en el híbrido interespecífico OxG. Fotos: Hormaza y Chan (2010). Ubicación: Unipalma S.A.

En la emergencia (estadio 009) las dos hojas plumulares sobresalen de la lígula y la radícula ya tiene aproximadamente 1 cm de longitud. Del suelo sobresale el ápice de la segunda hoja plumular. El color de la plúmula es verde claro y la radícula tiene un color crema (Figura 38).



Figura 38. Estadio 009. Emergencia (li) lígula, (l) primera hoja plumular, (ll) segunda hoja plumular. Fotos: P. Hormaza (2010). Ubicación: Unipalma S.A.

Estadio de crecimiento principal 1: Desarrollo de la hoja en vivero y en campo

Algunos días después se pueden visualizar completamente las hojas plumulares (estadio 100, Figura 39). Un mes después de la emergencia la lámina foliar se encuentra totalmente expandida y se denomina como la primera hoja lanceolada (estadio 101, Figura 39b). Al transcurrir el segundo mes se aprecia la segunda hoja lanceolada abierta (estadio 102, Figura 39c). La planta continúa su desarrollo formando alrededor de cinco hojas lanceoladas simples que corresponden al 90 % en este estadio (109). Este se utiliza como un criterio para decidir el momento de trasplante en viveros de dos fases de previvero a vivero.



Figura 39. Estadios 100, 101 y 102 del desarrollo de las hojas en vivero. a) Hojas plumulares completamente visibles (l y ll) Foto: L. Moreno (2010). b) Apertura de la primera hoja lanceolada simple (estadio 101). Foto: P. Hormaza (2010). c) plántula de palma de aceite de dos meses de edad mostrando dos hojas lanceoladas simples totalmente extendidas (estadio 102). Fotos: D. Forero (2012). Ubicación: Unipalma S.A. y Guaicaramo S.A.

Posterior a la aparición de las hojas lanceoladas comienza la división de la lámina foliar y aparecen las primeras hojas bifurcadas en la punta (estadio 120) hasta formar cerca de cinco hojas con bifurcación (estadio 129). En la hoja 12 aparecen hendiduras que dividen parcialmente las láminas entre las venas para formar los primeros folíolos en la base de la hoja (estadio 130), hasta completar 17 a 18 hojas (estadio 129, Figura 40).



Figura 40. Estadios 129 y 130. a) Aparición de hojas bifurcadas o bífidas (bf), estadio 129. b) Formación de los primeros folíolos (f) en la base de la hoja 12. Fotos: C. Bayona y D. Forero (2012). Ubicación: Guaicaramo S.A.

A medida que pasa el tiempo se observa la primera hoja con los folíolos diferenciados y separados, y comienza la emergencia de la hoja flecha (estadio 140), la cual permanece completamente cerrada. A continuación empiezan los distintos estadios relacionados con la apertura de la hoja flecha, que corresponden a los estadios 143 (apertura del 30 %), 145 (apertura del 50 %) y 149, en donde la hoja presenta una apertura mayor del 75 % de sus folíolos, considerándose como una hoja nueva (Figura 41).



Figura 41. Estadios 140 y 143. Aparición de la hoja flecha (fl) en estadio de vivero (estadio 140). Hoja 18 completamente pinnada y hoja flecha con 30 % de apertura (estadio 143). Fotos: R. Ruiz (2009). Ubicación: Palmar de La Vizcaína y Guaicaramo S.A.

En una palma en crecimiento activo en campo se produce una hoja flecha en sentido vertical ascendente, apreciándose que el raquis se encuentra totalmente elongado y los foliolos de color verde claro están apretados en el centro de la corona (estadio 150, Figura 42). Se presenta apertura del 30 % de la hoja flecha (estadio 153), en el que se observa el inicio de la separación de los foliolos del ápice de la hoja, mientras que en la base aún permanecen plegados hacia arriba y no se ve la separación de los foliolos (Figura 43 a).

En el estadio 155 se aprecia la apertura del 50 % de los foliolos superiores y la parte baja de la hoja aún está plegada. Al tener un 75 % de apertura se considera como la hoja 1 y se completa el estadio 159. Los foliolos se han separado en casi su totalidad y los ápices de las hojas son los últimos que se separan (Corley & Tinker, 2003) (Figuras 45 b y c).



Figura 42. Estadio 150. Detalle de una hoja flecha en palma de aceite. Foto: S. Lozano (2009).

Después de que la hoja despliega sus foliolos, se desplaza progresivamente hacia el exterior y hacia abajo a medida que emergen las hojas más jóvenes. En este momento los foliolos han completado su crecimiento en área (Corley, Gray & Ng, 1971). El pecíolo continúa su elongación luego de que el raquis está completamente desarrollado (Henry, 1955). Una vez que se abre esta hoja, inmediatamente se elonga otra hoja flecha tomando su lugar.



Figura 43. Estadios 153, 155 y 159. a) Hoja con un 30 % de apertura (estadio 153). b) Hoja 18 completamente pinnada y hoja flecha con 50 % de apertura (estadio 155). c) Hojas con un 75 % de apertura (estadio 159). Fotos: S. Lozano (2009).

Estadio de crecimiento principal 3: Elongación del estípite

La base de la palma aceitera mantiene un proceso de ensanchamiento sostenido durante los primeros años de vida, que comprenden las fases de vivero y los primeros años en el campo. El tronco completa virtualmente su crecimiento en grosor antes de que se elonguen los entrenudos (Hartley, 1988).

Al comienzo del crecimiento de las plántulas de la palma de aceite se forma la base del estípite, sin elongación de los entrenudos. Tres a cuatro meses después de la germinación, la base del estípite se hincha de manera que toma la figura de un cono invertido del cual se originan las raíces adventicias, observándose el estadio 300 (Corley & Tinker, 2003).

Desde la fase de vivero y hasta los primeros tres años, la palma de aceite engrosa la base del estípite sin verse ningún crecimiento significativo en la altura del tallo (estadio 301).

Los estípites del híbrido interespecífico OxG y *Elaeis guineensis* tienen una tasa de elongación entre los 25 a 50 cm por año, respectivamente; el estípite presenta las bases peciolares que permanecen adheridas hasta los 12 a 16 años. A partir de esa edad las bases se desprenden, primero en el tercio medio del tallo, quedando las secciones basal y distal con las bases foliares (estadio 305, Figura 44). En edad avanzada se ven las cicatrices donde se encontraban adheridas las bases peciolares y en la parte de la corona (apical), se observan algunas bases peciolares adheridas (estadio 309, Figura 45).



Figura 44. Estadio 305. Bases peciolares persistentes en el estípite en: a) Híbrido interespecífico OxG y b) *Elaeis guineensis*. Fotos: L. Moreno (2011).



Figura 45. Estadio 309. Estípite de palmas maduras sin bases peciolares. a) *Elaeis guineensis*. b) *Elaeis oleifera*. c) Híbrido interespecífico OxG. d) Cicatrices de las bases peciolares (bp) y entrenudos (ent) del estípite. Fotos: L. Morero (2012), P. Hormaza (2010) y R. Ospitia (2007).

Estadio principal de crecimiento 9: Senescencia

Las especies de palma africana son plantas monoicas no ramificadas de naturaleza perenne, las cuales pueden crecer hasta una altura de 20 a 30 metros y en hábitats silvestres se ha reportado la existencia de palmas con más de 200 años de edad (Latiff, 2000). Sin embargo, sus órganos completan su ciclo de vida en diferentes tiempos o edades.

En las hojas la senescencia es caracterizada por una disminución en el contenido de clorofilas y en la actividad fotosintética. El resultado de la senescencia se puede considerar como una forma de muerte celular programada (Doom & Woltering, 2004). Este proceso no solo es degenerativo, sino que también constituye un rol fundamental en el reciclaje de nutrientes, en especial en la removilización del nitrógeno (Himelblau & Amasino, 2001).

El comienzo del proceso de la senescencia es regulado genéticamente y depende del ambiente en el cual la planta está creciendo. La senescencia temprana puede reducir la capacidad de asimilación de CO₂ por parte de la planta, mientras que una senescencia muy tardía interfiere con la removilización de nutrientes, lo que comprometería la actividad fotosintética de las hojas jóvenes y, por ende, la capacidad reproductiva (Winger, Purdy, MacLean & Portau, 2006).

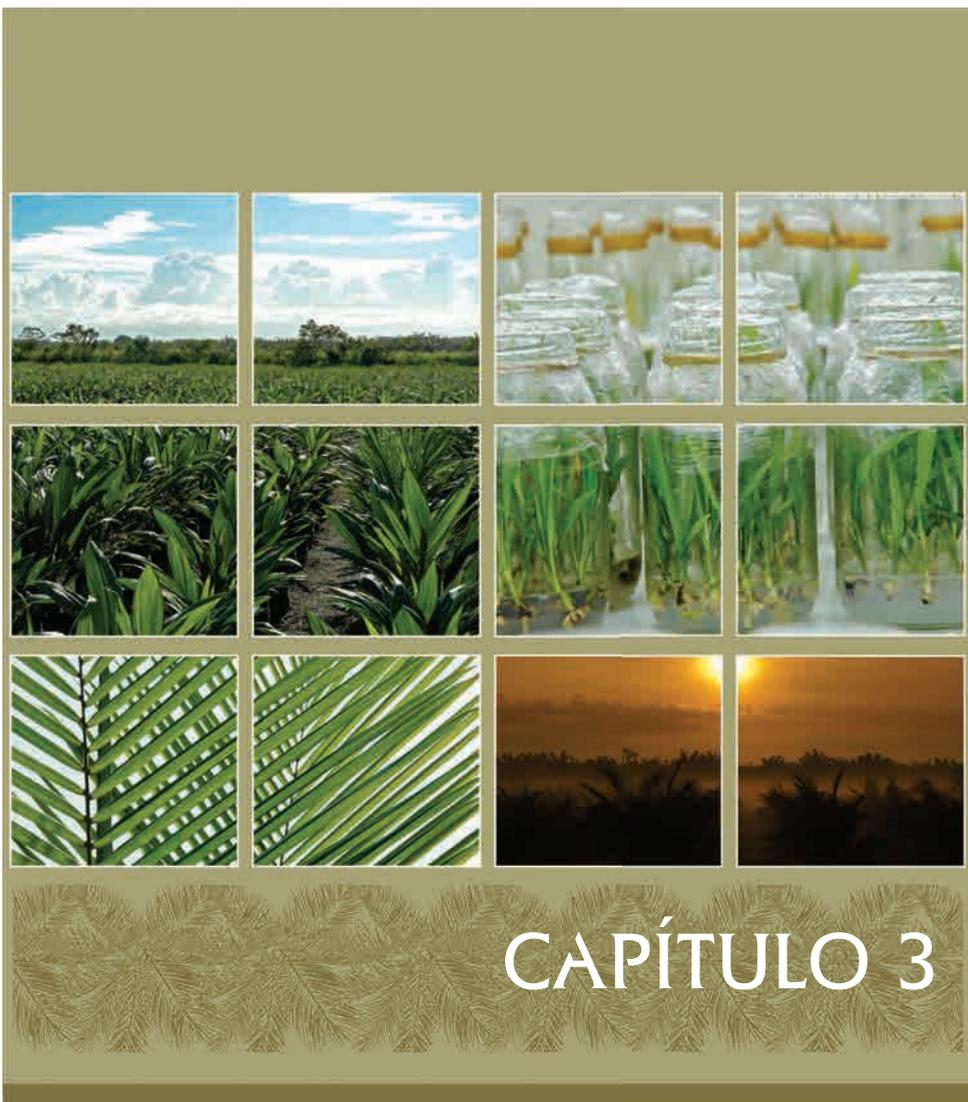
En comparación con otros rasgos del ciclo de la vida de una planta como la floración, el mecanismo que controla la senescencia en otros órganos no está dilucidado, debido a que es un proceso gradual difícil de cuantificar; además, este puede ser inducido por una gama de condiciones ambientales como la luz, concentración de CO₂, disponibilidad de nitrógeno y condiciones de estrés biótico, que tienen efectos importantes en el contenido de azúcares en la hoja.

En una densidad de 140 a 150 palmas por hectárea, sin podas, la senescencia de las hojas comienza en las hojas 48-50, pero en densidades de siembra más altas comienza en la hoja 35 (Corley *et al.*, 1982). Las hojas viejas cambian su color de verde a amarillo y, finalmente, se secan y los pecioloos se doblan hacia el estípite (estadio 909).

Bibliografía

- Corley, R., Gray, B. & Ng, S. (1971). Productivity of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Experimental Agriculture*, 7, 129-136.
- Corley, R. H. & Tinker, P. (2003). *The oil palm* (Fourth edi., p. 562). Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Corley, R. & Tinker, P. (2003). Growth, flowering and yield. *The oil palm* (Fourth edi., p. 541). Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Doom, W. & Woltering, E. (2004). Senescence and programmed cell death: substance or semantics? *Journal of Experimental Botany*, 55, 2147-2153.
- Dransfield, J. & Uhl, N. (2008). *Genera Palmarum. The evolution and classification of palms* (Second edi., p. 732). Kew Publishing.
- Guerrero, J., Bastidas, S. & García, J. (2011). Estandarización de una metodología para germinar semillas del híbrido inter-específico *Elaeis oleifera* H. B. K. x *Elaeis guineensis*. *J. Revista de Ciencias Agrícolas*, XXVIII(1), 132-146.
- Hartley, C. (1988). *The oil palm* (p. 761). New York: Longmans Green.
- Henry, P. (1955). Morphologie de la feuille d'*Elaeis* au cours de croissance. *Rev. gén. Bot*, 32, 66-77.
- Himelblau, E. & Amasino, R. (2001). Nutrients mobilized from leaves of Arabi-

-
- dopsis thaliana during leaf senescence. *Journal of plant physiology*, 158, 1317-1323.
- IICA. (1991). *XI Curso Corto. Metodología para la producción de semilla comercial de palma aceitera africana*. (p. 79).
- Jacome, C. & Carvalho, E. (2008). Germinação de sementes de palmeira com potencial para produção de agroenergia. *Informativo ABRATES*, 18, 39-50.
- Latiff, A. (2000). The biology of the genus *Elaeis*. *Advances in oil palm research volume I* (pp. 19-38).
- Siew, W. (2000). Analysis of palm and palm kernel oils. In Y. Basiron, B. Jalani, & K. Chan (Eds.), *Advances in oil palm research Vol. 2* (pp. 895-934). Kuala Lumpur, Malaysia: MPOB.
- Turner, P. & Gillbanks, R. (2003). *Oil Palm cultivation and management* (p. 33). Kuala Lumpur, Malaysia: The Incorporated Society of Planters.
- Winger, A., Purdy, S., MacLean, J. & Portau, N. (2006). The role of sugars in integrating environmental signals during the regulation of leaf senescence. *Journal of Experimental Botany*, 57(2), 391-399.



CAPÍTULO 3

Escala BBCH para la descripción del desarrollo reproductivo de *Elaeis guineensis* Jacq.

Autores

Diana Carolina Forero Hernández
Hernán Mauricio Romero Angulo

Estadio principal de crecimiento 5: Emergencia de la inflorescencia

El crecimiento de las inflorescencias tiene tres estadios: el primero es el inicio de la formación de la estructura dentro del estípite (no reconocible externamente y que ocurre en las hojas negativas, es decir, en los primordios foliares que no han emergido); el segundo es la emergencia de la inflorescencia en la axila de cada hoja (estadio en el que empieza la fase de crecimiento rápido), y el tercero se presenta entre el momento de la apertura foliar y la aparición visible de la inflorescencia, en donde aún no se observa el sexo debido a la cobertura de las brácteas de protección. La inflorescencia está cubierta en su estadio juvenil por la bráctea peduncular y el prófalo. En este estadio la diferenciación sexual ya está definida, pero no es apreciable por la cobertura de protección adherida y solidificada. En este momento la estructura floral se denomina “no diferenciada (ND)” y constituye el estadio más largo del desarrollo floral.

La inflorescencia se encuentra entre la axila de la hoja y el estípite, y en este estadio no es visible, ya que está aplanada en la parte posterior de la axila, muy adherida a la base peciolar de la hoja 13 (estadio 500, Figura 46).



Figura 46. Estadio 500. Inflorescencia no visible. Foto: P. Hormaza (2010).

La inflorescencia es visible en la zona axilar de la hoja. Durante la emergencia temprana su forma es elíptica, cubierta por dos estructuras fibrosas, duras y leñosas denominadas bráctea peduncular y prófalo, las cuales se encuentran fusionadas y no son diferenciables (estadio 501). En este la inflorescencia no es visible fácilmente, ya que aún está aplanada en la parte posterior de la axila de la hoja e inicia el proceso de separación de la estructura de la base de la hoja y del estípote. La aparición de la estructura floral es visible en un 10 % (Figura 47).

Desde la apertura de la hoja hasta la aparición de la estructura floral visible en un 10 % (estadio 501) han transcurrido, para *Elaeis guineensis*, entre 218 y 244 días y se encuentra en la hoja 14.

A partir del momento en que la estructura es visible en la axila de la hoja, hasta que han transcurrido 30 meses aproximadamente desde el inicio de su formación dentro del meristemo (R. Corley, Ng & Donough, 1995; Jones, 1997).



Figura 47. Estadio 501. Estructura floral cerrada. Se observa el prófalo (pf) fusionado con la bráctea peduncular. Foto: P. Hormaza (2010).

Cuando la emergencia de la inflorescencia ha alcanzado el 30 % de su tamaño total, ocurre un alargamiento antes que un engrosamiento de la estructura (estadio 503, Figura 48). La estructura se ubica en el sentido contrario a la filotaxia de la palma, en sentido descendente. Las raquillas están completamente cerradas, erectas y de coloración marrón intenso. El botón floral no es observable en la axila de la raquilla debido a que la bráctea floral se encuentra plegada hacia esta.

En el estadio 505 la inflorescencia ha alcanzado el 50 % de su tamaño final y hay cambio de una posición foliar debido a la apertura de una nueva hoja. El prófalo se

rasga y se desintegra debido al comienzo del engrosamiento de la estructura floral, mientras que la bráctea peduncular aún cubre la estructura (Figura 49).

Cuando la emergencia de la estructura floral es del 90 % del tamaño total (estadio 509), la bráctea peduncular inicia su rasgamiento muy leve y en este momento se puede determinar que la inflorescencia está cercana al comienzo de los estadios de preantesis (Figura 50).

En la emergencia de la inflorescencia el prófalo puede alcanzar una longitud final de 45 cm, aproximadamente, mientras la bráctea peduncular, más corta, mide de 2 a 4 cm menos (Adam *et al.*, 2005). El prófalo y la bráctea peduncular encierran la inflorescencia durante 50 a 54 días para la especie *E. guineensis*.



Figura 48. Estadio 503. a) Emergencia de la inflorescencia en un 30 %. b) Brácteas que protegen la inflorescencia (pf) prófalo y (bp) bráctea peduncular. c) Obsérvese que las raquillas están completamente cerradas, erectas y de coloración marrón intenso. Fotos: P. Hormaza (2010).



Figura 49. Estadio 505. Emergencia del 50 % de la inflorescencia femenina. Nótese que el prófalo (pf) ha comenzado a rasgarse y la bráctea peduncular cubre la inflorescencia. Foto: P. Hormaza (2010).



Figura 50. Estadio 509. Emergencia del 90 % de la inflorescencia femenina. En este momento la bráctea peduncular comienza a rasgarse. Foto: P. Hormaza (2010).

Estadio principal de crecimiento 6: Floración

La floración empieza con el rasgamiento de la bráctea peduncular en la altura media de la inflorescencia. En este momento se visualizan las espiguillas o raquillas, las cuales se encuentran apretadas hacia el centro; se diferencia el sexo de la flor, ya sea masculina o femenina, y las raquillas presentan un color verde claro en la especie *E. guineensis*.

En este momento aún no se visualizan claramente los botones florales, (estadio 601) denominado preantesis I (Figura 51). Han transcurrido 30 días aproximadamente desde la emergencia de la estructura (estadio 501). La duración de este estadio es de siete a ocho días y se puede observar en la hoja 20, (Tabla 4).



Figura 51. Estadio 601. Inflorescencias femeninas en preantesis I. a) Inflorescencia de *Elaeis guineensis*. b) Estructura interna de la inflorescencia. c) Detalle del botón floral en preantesis I. Fotos: J. Camperos (2009); P. Hormaza (2010) y D. Forero (2012).

En la inflorescencia masculina la preantesis I se caracteriza porque la bráctea peduncular se rasga y se aprecian las espiguillas de color marrón, con forma digitiforme o cilíndrica, apretadas hacia el centro.

En el estadio 602, correspondiente a la preantesis II, la bráctea peduncular se rasga en un 30 % de su longitud total, permitiendo ver las raquillas y las flores cerradas cubiertas por la bráctea del verticilo que están insertas en ella (Figura 52). El color de los tépalos de la inflorescencia femenina en la especie *E. guineensis* es de verde pálido a rojizo vino tinto. La duración de este estadio en la inflorescencia femenina es de siete a ocho días y se ubica en la hoja 22, (Tabla 4).



Figura 52. Estadio 602. Inflorescencia femenina de *Elaeis guineensis* en preantesis II. Fotos: P. Hormaza y A. Sánchez. (2010).

Por su parte, en las inflorescencias masculinas las espiguillas cilíndricas se encuentran parcialmente expuestas y libres, debido a que su bráctea peduncular está más rasgada. Este estadio se presenta transcurridos aproximadamente ocho días después de la preantesis I (Figura 53).



Figura 53. Estadio 602. Inflorescencia masculina en preantesis II. Foto: R. Ruiz (2010).

La preantesis III (estadio 603) en todas las inflorescencias comienza cuando el prófalo inicia su proceso de desintegración. La bráctea peduncular continúa cubriendo la inflorescencia, pero se rasga entre 50 y 70 % de su superficie, y en medio de las grietas se pueden observar completamente los botones florales femeninos, que cesan su crecimiento y han cambiado su coloración, que pasa de vino tinto o rosado a un color blanco cremoso (Figura 54).



Figura 54. Estadio 603. Inflorescencia femenina en preantesis III. Fotos: P. Hormaza; A. Sánchez (2010).

El tiempo transcurrido entre la preantesis II y la III es de siete días, y ocurre un nuevo cambio de la posición foliar (hoja 23), (Tabla 4).

En la inflorescencia masculina la preantesis III pasa por la elongación de la inflorescencia, provocando la ruptura total de la bráctea peduncular, lo cual permite que las raquillas o espiguillas se encuentren más separadas entre sí. En este estadio las espiguillas y las brácteas florales están más separadas, lo que permite la fácil observación de los botones florales, que presentan un tamaño de 5 mm y este desarrollo floral es identificado como preantesis III (Figura 55). En la inflorescencia masculina han transcurrido siete días de haberse presentado la preantesis II y se aprecia una nueva apertura foliar, cambiando de posición nuevamente.



Figura 55. Estadio 603. Inflorescencia masculina en preantesis III. Foto: R. Ruiz (2009).

El estadio de antesis inicia cuando el estigma sésil con sus tres lóbulos está en su etapa receptiva (estadio 607). Estos lóbulos se abren y exponen sus superficies exteriores. Entre tanto, la bráctea peduncular se ha desprendido casi totalmente de la inflorescencia femenina, exponiendo por completo los lóbulos del estigma, los cuales son de color blanco (228-220-192 en forma RGB⁷, por sus siglas en inglés) (Figura 56). La posición donde ocurre la antesis es la hoja 23. En este momento la inflorescencia femenina ha alcanzado una longitud de 40 cm.



Figura 56. Estadio 607. Inflorescencia femenina de *Elaeis guineensis* en antesis. Fotos: P. Hormaza; A Sánchez (2010).

⁷ RGB (del inglés Red, Green, Blue; “rojo, verde, azul”). Sistema utilizado para la descripción cuantitativa del color de las diferentes estructuras, el cual hace referencia a la composición del color en términos de la intensidad de los colores primarios con que se forma. Esta manera de representarlos con números para la intensidad de los componentes rojo, verde y azul de la luz se conoce como el sistema de color RGB.

En la inflorescencia masculina el estadio de antesis se alcanza después de siete días del estadio de preantesis III, en donde más del 70 % de las flores se han abierto desde la base de cada espiguilla hacia la parte apical, es decir, de forma ascendente. Por lo general, todas las flores abren en dos días, lo que concuerda con lo encontrado por (R. H. Corley & Tinker, 2003). La mayor parte del polen se desprende durante dos o tres días siguientes al comienzo de la antesis y cesa la producción en cinco días (Figura 57).



Figura 57. Estadio 607. Inflorescencia masculina en preantesis III. Foto: M. Monroy (2010).

La antesis ocurre de forma acropétala en las inflorescencias masculinas y femeninas. Las flores masculinas abren entre las 8:00 y 10:00 horas, y las femeninas, a partir de las 9:00 y 10:00 horas. El estigma se vuelve receptivo cuando los lóbulos se separan y pueden permanecer así por 24 horas (Tandon, Manohara, Nijalingappa & Shivanna, 2001). Según Corley y Gray (1982), la antesis tiene una duración de 36 a 48 horas en palma joven de dos a cuatro años.

Los sépalos maduros de las flores masculinas funcionales son delgados, secos, membranosos y de color amarillo o marrón, y miden más o menos 2 cm de largo. Por otra parte, los pétalos son de menor coloración. Las flores masculinas, al igual que sus contrapartes femeninas, producen un aroma similar al anís en el momento de la maduración, probablemente por la acción de las papilas (Beinaert, 1935).

El último estadio de desarrollo de la inflorescencia es la polinización (estadio 609). Cuando se abren los lóbulos estigmáticos, estos muestran su superficie receptiva aproximadamente por 24 horas y la polinización se inicia entre los 26 y 28 meses de sembrada la palma, bajo condiciones naturales de polinización la eficacia puede ser de 100 %.

Tabla 4. Cuadro resumen de estadios de emergencia y desarrollo floral de *Elaeis guineensis* (material IRHO) en la Zona Central.

Estadio	Número de días promedio	Posición filotáctica
Inflorescencia no diferenciada a preantesis I (501-601)	29,45±1,72	17,33±0,15
Preantesis I a preantesis II (601-602)	7,16±0,27	17,67±0,11
Preantesis II a preantesis III (602-603)	6,92±0,12	18,31±0,15
Preantesis III a antesis (603-607)	6,82±0,11	18,32±0,16

Fuente: Cenipalma. Los valores son las medias \pm error estándar de la media de n=16.

La receptividad del estigma está asociada con la apertura de los lóbulos estigmáticos y la secreción de una limitada cantidad de exudado. Es así como después de 24 horas de la ocurrencia de la antesis, los lóbulos estigmáticos desarrollan antocianinas, tornándose de color púrpura *E. guineensis* (RGB 29-53-97, Figura 58).



Figura 58. Formación de antocianinas después de la polinización (estadio 609).
Foto: A Sánchez (2010).

En la inflorescencia masculina no hay estadio de polinización y está determinada por el final de la floración (estadio 609). Las flores se tornan color marrón debido a que sus anteras comienzan a secarse, no hay presencia de polen y las espiguillas empiezan a degradarse (Figura 59).



Figura 59. Estadio 609. Inflorescencia masculina en el estadio de fin de la floración.
Foto: J. Camperos (2009).

Estadio principal de crecimiento 7: Desarrollo del fruto

En la especie *E. guineensis* este estadio inicia cuando la flor femenina está fecundada y se caracteriza porque los lóbulos del estigma se endurecen y cambian, pasando de color púrpura a negro y empieza el hinchamiento del ovario, el cual está recubierto por las brácteas del verticilo. Por esta razón la coloración del exocarpio es más clara. El color de la base es beige verdoso claro a blanco crema (RGB 221-221-168), en el centro es verde caña (RGB 188-166-108) y en el ápice presenta una coloración rojo ocre oscuro (RGB 76-41-40). Aún no se diferencia el cuesco ni el endospermo y el color del mesocarpio es beige, según la escala es RGB 200-179-118 (estadio 700).

Ocho días después de la antesis el fruto ha alcanzado el 30 % de su tamaño final, es de color verde grisáceo pálido en la base (RGB 223-228-180), amarillo caqui oscuro en el centro (RGB 193-185-109) y rojo madera oscuro en el ápice (RGB

193-169-103). No se diferencia el cuesco del endospermo, que presenta una textura blanda con una coloración verde caña claro (RGB 193-169-103) (estadio 701).

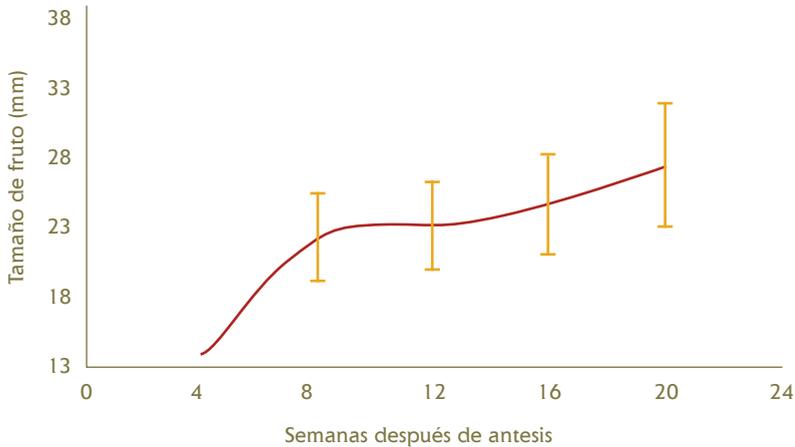


Figura 60. Curva de crecimiento de fruto en semanas después de la antesis en *Elaeis guineensis*. Fuente: Cenipalma.

Transcurridos 28 a 31 días después de antesis ha sucedido un crecimiento de tamaño y peso de los frutos, el cual alcanza el 50 % de su forma final. Los frutos presentan una coloración negra en el ápice y en el centro de los frutos, mientras que en la base son de color amarillo pálido, con el endospermo que es líquido transparente y aún no se diferencia el cuesco. El fruto está rodeado por las brácteas del verticilo (estadio 703).

Aproximadamente 59 a 61 días después el fruto ha alcanzado el 80 % de su tamaño final, presenta un aspecto brillante y es de color amarillo ocre en la base (RGB 175-159-75), pardo negruzco en el centro (RGB 46-2624) y azul negruzco en el ápice (RGB 15-15-14). Se diferencia el cuesco del endospermo, tomando un color amarillo marfil claro (RGB 182-149-98) y una textura blanda. El endospermo se encuentra en estado coloidal (estadio 705).

A los 79 días después de la antesis, el fruto ha alcanzado más del 90 % de su tamaño final, presenta un aspecto brillante y es de coloración marrón chocolate oscuro en la base (RGB 96-70-74) y pardo negruzco muy oscuro en el ápice (RGB 67-52-51). Se diferencia el cuesco del endospermo, el cual ya es sólido, fácilmente quebrantable, ha tomado un color pardo pálido claro (RGB 173-144-112), el endospermo presenta una textura blanca y se encuentra en estado coloidal (estadio 709, Figura 61).

Tabla 5. Descripción del porcentaje de crecimiento y rango de días aproximado de desarrollo de fruto en *Elaeis guineensis*.

Porcentaje de crecimiento	Diámetro promedio de fruto (mm)	Días después de la antesis
Hasta 80 %	N.D.	28 a 31
De 80 a 90 %	23,00	56 a 84
De 91 a 95 %	23,91-25,88	112
De 95 a 100 %	27,90	140

Fuente: Cenipalma, los autores.

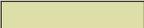
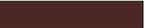
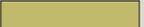
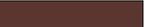
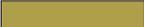
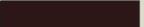
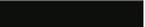
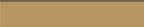
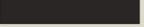
Tiempo	Apariencia racimo	Basal	Central	Apical	Cuesco
1 día Estadio 700		(221-221-168)*	(188-166-108)	(76-41-40)	(200-179-118)
					
					
8 días Estadio 701		(223-228-180)	(193-185-109)	(92-54-48)	(193-169-103)
					
					
59 a 61 días Estadio 705		(175 -159-75)	(46-26-24)	(15-15-14)	(182-149-98)
					
					
79 días Estadio 709		(67-52-51)	(46-40-40)	(96-70-74)	(173-144-112)
					
					

Figura 61. Estadios fenológicos para el desarrollo del racimo y fruto en *Elaeis guineensis*.

Fotos: P. Hormaza y L. Moreno (2010).

* Color en escala RGB (Red-Green-Blue).

Estadio principal de crecimiento 8: Maduración del fruto y del racimo

84 días después de la antesis el fruto ha alcanzado el tamaño propio de su especie, la coloración cambia a amarillo ocre (RGB 174-155-70), el centro continúa siendo pardo negruzco (RGB 45-25-22) y en el ápice gris negruzco (RGB 25-23-21). Finalmente, el cuesco se empieza a oscurecer tomando un color amarillo arena más intenso (RGB 173-134-81). El endospermo se encuentra totalmente sólido (estadio 800).

A los 112 días después de antesis, la coloración cambia de amarillo arena a amarillo oro en la base (RGB 195-149-39), en la parte central de pardo negruzco a pardo rojo oscuro (RGB 84-32-20) y en la parte apical aún se conserva el color pardo muy negruzco (RGB 29-19-18). El cuesco se endurece y cambia de color pardo pálido claro a marrón madera (RGB 74-54-38) (estadio 805).

Entre los días 126 a 140 después de antesis la coloración externa del fruto cambia a amarillo ocre en la base (RGB 210-120-16), rojo rubí en el centro (RGB 113-28-13) y marrón oscuro en el ápice (RGB 49-16-15). Al hacer un corte trasversal de este se observa que el mesocarpio es de color naranja y el cuesco es marrón chocolate oscuro (RGB 64-46-36). Comienza la abscisión de los frutos desde la parte apical del racimo y se encuentra listo para la cosecha (estadio 807, Figura 62).

El desarrollo del racimo hasta la madurez toma entre 4 y 6 meses. Cuando la madurez del fruto se ha completado, este se encuentra en la posición filotáxica 30 a 32. El racimo maduro de *E. guineensis* es ovoide y puede alcanzar 50 o más centímetros de largo y 35 cm de ancho (R. H. Corley & Tinker, 2003).

La formación de aceite del fruto dura de cuatro a seis semanas. Este proceso no es simultáneo para todos los frutos, ya que primero maduran los de vértice y de último los de la base del racimo. Este período de maduración progresiva de frutos se extiende durante 17 días. La madurez del racimo en la palma de aceite se alcanza en un período de entre cinco y seis meses, desde la antesis hasta el inicio de la cosecha. A partir de este momento se sintetiza el aceite y ocurre la formación de ácidos grasos libres (Ortiz & Fernández, 2000).

Una vez los frutos han alcanzado el estadio 809 empieza el proceso de sobremaduración, el cual se caracteriza porque el exocarpio presente de 10 a 40 % de la superficie es de color pardo y con grietas, y las raquillas presentan mayor apertura y lignificación (Figura 62). Este fruto sobremaduro no es considerado apto para el proceso de transformación industrial.

Cuando los racimos de palma alcanzan su estadio óptimo de madurez se inicia un proceso bioquímico de descomposición del aceite, gracias al cual se forman ácidos grasos libres (AGL). Este fenómeno se conoce como acidificación y se acelera cuando los racimos han sido cortados de la palma o los frutos se desprenden del racimo de manera natural facilitando el desdoblamiento del aceite en AGL, gracias a la contextura del mesocarpio, que en los frutos es muy fibrosa y el aceite contenido en el mismo tiene una viscosidad muy alta (Ortiz & Fernández, 2000).

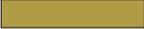
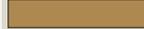
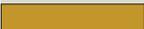
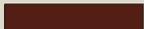
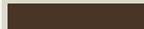
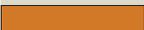
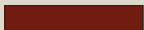
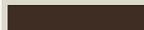
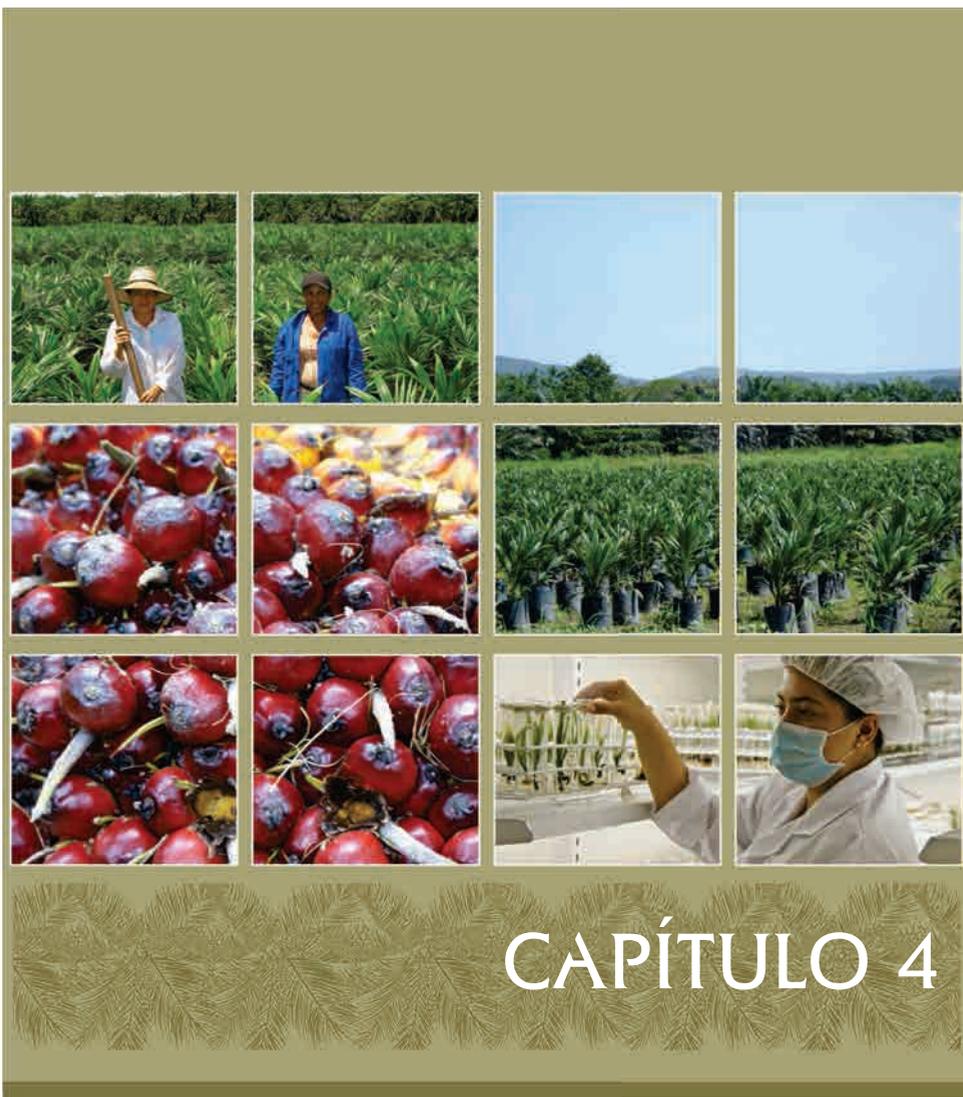
Tiempo	Apariencia racimo	Basal	Central	Apical	Cuesco
84 días Estadio 800		(174 -155-70)**	(45-25-22)	(25-23-21)	(173-134-81)
					
					
112 días Estadio 805		(195-149-39)	(84-32-20)	(84-32-20)	(74-54-38)
					
					
59 a 61 días Estadio 807		(210-120-16)	(113-28-13)	(49-16-15)	(64-46-36)
					
					
días Estadio 809					
					

Figura 62. Estadios fenológicos para la maduración del racimo y fruto en *Elaeis guineensis*. Fotos: P. Hormaza y L. Moreno (2010).
** Color escala RGB (Red-Green-Blue).

Bibliografía

- Adam, H., Jouannic, S., Escoute, J., Duval, Y., Verdeil, J.-L., & Tregear, J. W. (2005). Reproductive developmental complexity in the African oil palm (*Elaeis guineensis*, Arecaceae). *American Journal of Botany*, 92 (11), 1836-1852. doi: 10.3732/ajb.92.11.1836.
- Beinaert, A. (1935). Introduction à la biologie florale du palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacquin). Brussels, Belgium: Publications de l'institut National pour l'Etude Agronomique du Congo Belge (INEAC).
- Corley, R. H. & Tinker, P. (2003). *The oil palm* (Fourth edi., p. 562). Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Corley, R., Ng, M., & Donough, C. (1995). Effects of defoliation on sex differentiation in oil palm clones. *Expl Agric*, 31, 177-189.
- Jones, L. (1997). The effects of leaf pruning and other stresses on sex determination in the oil palm and their representation by a computer simulation. *Journal of Theoretical Biology*, 187, 241-260.
- Ortiz, R., & Fernández, O. (2000). *El cultivo de la palma aceitera* (p. 208). San José de Costa Rica: Euned.
- Tandon, R., Manohara, T., Nijalingappa, B., & Shivanna, K. (2001). Pollination and Pollen-pistil Interaction in Oil Palm, *Elaeis guineensis*. *Annals of botany*, 87, 831-838. doi: 10.1006/anbo.2001.1421.



Escala BBCH para la descripción del desarrollo reproductivo de *Elaeis oleifera* Cortes H.B.K.

Autores
Leidy Paola Moreno Caicedo
Hernán Mauricio Romero Angulo

La palma americana *Elaeis oleifera*, que se encuentra en poblaciones naturales a lo largo de Centroamérica, Panamá y Suramérica, se distribuye en Colombia en depresiones entre áreas onduladas de pastizales, en sitios húmedos y en algunos casos pantanosos cerca o en las orillas de los ríos (Corley & Tinker, 2003), y es de interés en programas de mejoramiento genético, se ha constituido en una fuente de variabilidad genética muy valiosa como posible solución a algunos de los problemas fitosanitarios y de calidad de aceite que presenta *E. guineensis* (Rey, Gómez, Ayala, Delgado & Rocha, 2004).

La mayor parte de las plantaciones comerciales están plantadas con material *E. guineensis*. Estas tienen origen a partir de cruces seleccionados de palmas Deli duras con polen de diferentes orígenes (cruces DxP), principalmente AVROS y Yangambi; sin embargo, la palma aceitera americana *E. oleifera* no ha sido utilizada en forma extensiva, debido a que presenta un bajo contenido de aceite. No obstante, los híbridos producto del cruzamiento de las dos especies (cruces OxG) tienen un contenido razonable de aceite y, además, presentan un grado variable de resistencia/tolerancia a algunas enfermedades, en particular a las pudriciones de la flecha y el cogollo (Torres, Rey, Gelves & Santacruz, 2004; Zambrano, 2004; Meunier, 1991).

Algunas características que distinguen a *E. oleifera* son: tiene un porte más bajo que *E. guineensis* y con frecuencia su hábito de crecimiento es erecto o semierecto durante la etapa juvenil y en la fase adulta reptante y sinuoso con la porción terminal emergente. La abundante formación de raíces adventicias permite a la palma irse afirmando sobre el suelo, a medida que el estipe continúa creciendo y postrándose (Corley & Tinker, 2003). Las hojas son compuestas, pinnadas, con una longitud total de 5-8 m de largo con folíolos situados en un solo plano. En el borde de los pecíolos se presentan espinas cortas cónicas y de la punta de algunas salen fibras delgadas y finas. Las inflorescencias se producen en las axilas de las hojas y son espádices provistos de dos brácteas de protección, unisexuales y, además, cuen-

tan con inflorescencias andromorfas, semejantes a las masculinas, que tienen frutos partenocárpicos (Peláez & Ramírez, 2004).

Hardon, 1969, afirma que *E. oleifera* tiene una marcada tendencia hacia la producción de frutos partenocárpicos. Este carácter es totalmente dominante en los cruzamientos para la producción de híbridos interespecíficos. *E. oleifera* presenta tendencia a producir diferentes tipos de frutos:

1. Frutos normales que contienen una nuez con endospermo blanco y un embrión.
2. Frutos aparentemente normales, pero por lo general más pequeños y alargados con cuesco y en lugar de desarrollar el endospermo sólido la cavidad se llena de líquido.
3. Frutos partenocárpicos pequeños con endocarpio lignificado y una cavidad rudimentaria.

Estadio principal de crecimiento 5: Emergencia de la inflorescencia

La inflorescencia se encuentra adherida entre la base peciolar y el tallo (estadio 500). La estructura floral está protegida por un prófalo y una bráctea peduncular fusionadas de consistencia gruesa y lignificada. Posteriormente, la estructura floral empieza a perder la consistencia lignificada de sus brácteas de protección y se observa que la base de esta inicia su engrosamiento (estadio 501, Figura 63).



Figura 63. Estadio 501. Foto: L. Chan (2011).

La inflorescencia presenta cerca del 30 % de su crecimiento, se observa el engrosamiento de la base de la estructura floral y esta se visualiza en la axila de la hoja (estadio 503, Figura 64).



Figura 64. Estadio 503. Foto: L. Chan (2011).

La estructura floral continúa con el engrosamiento de la base y la parte media. Se observa que sobresale en la axila de la hoja en el sentido contrario a la filotaxia de la palma con separación de la estructura floral respecto al pecíolo de la hoja. El prófalo se empieza a deshilar, se torna de consistencia fibrosa y tanto el prófalo como la bráctea peduncular aún cubren la estructura floral, y se presenta el 50 % de su crecimiento total (estadio 505, Figura 65).



Figura 65. Estadio 505. Foto: L. Moreno (2011).

Cada hoja presenta una inflorescencia potencial, por lo tanto, hasta que la hoja ha terminado su fase de crecimiento comienza la fase de crecimiento rápido de la inflorescencia y este estadio corresponde al momento en el que se hace visible en la axila de la hoja. Cuando la estructura floral presenta cerca del 90 % de su tamaño final se encuentran diferenciadas las dos brácteas de protección, las cuales le confieren condiciones adecuadas para el desarrollo de los botones florales. La primera bráctea o prófilo tiene una ruptura, se observa deshilachada, se visualiza la parte terminal de la segunda bráctea, denominada peduncular, que es lisa, sin fisuras sobre la superficie, es decir, en este momento aún no es visible el sexo de la estructura, aunque ésta ya está diferenciada (estadio 509, Figura 66).



Figura 66. Estadio 509. Foto: L. Moreno (2011).

Estadio principal de crecimiento 6: Floración de inflorescencias femeninas

Terminado el crecimiento del eje de la inflorescencia comienza el de los botones florales (Figura 67). Este se inicia con la ruptura de las brácteas que cubren el eje de la inflorescencia. Se observa la ruptura del 10 al 30 % de la segunda bráctea de protección. A la altura media de la bráctea peduncular se pueden visualizar las raquilas, se distingue el sexo de la inflorescencia, el prófilo aún continúa cubriendo la estructura floral, las raquilas no muestran separación entre ellas y todavía no se distinguen claramente los botones florales (estadio 601).



Figura 67. Estadio 601. Apariencia externa e interna de inflorescencias.
Fotos: L. Chan y L. Moreno (2011).

La bráctea peduncular presenta mayor apertura, se observa ruptura de esta entre el 30 al 60 % y el prófalo continúa cubriendo la inflorescencia (Figura 68). En el interior existe una separación entre las raquillas y la bráctea floral, así como se visualizan los botones florales en la axila de la bráctea floral (estadio 602).



Figura 68. Estadio 602. Apariencia externa de la inflorescencia.
Fotos: L. Chan y L. Moreno (2011).

La estructura de la bráctea peduncular es fibrosa, muy fuerte, cubre la inflorescencia y se forman grietas sobre la bráctea (Figura 69); sin embargo, no es posible observar las raquillas, pues la bráctea peduncular es muy densa. Los botones florales son protuberantes y dejan al descubierto los tépalos color marrón. La bráctea floral se rompe debido al crecimiento del tamaño del botón floral. Las raquillas se encuentran muy separadas (estadio 603).



Figura 69. Estadio 603. Apariencia externa e interna de inflorescencias.
Fotos: L. Moreno (2011).

El prófalo prácticamente ha desaparecido, la bráctea peduncular se rompe, pero continúa firmemente adherida a la inflorescencia, recubriéndola totalmente (Figura 70). La bráctea debe ser retirada manualmente para poder ver con claridad la apertura del botón floral, exponiendo los lóbulos del estigma, recubiertos de una sustancia mucilaginosa que facilita la adhesión del polen. La apertura de los botones florales se realiza de manera acropétala y, en algunos casos, se presenta asincronía, lo que ocasiona la no uniformidad en la apertura de los botones florales (estadio 607).



Figura 70. Estadio 607. Apariencia externa e interna de inflorescencias.
Fotos: L. Chan y L. Moreno (2011).

La flor secreta una sustancia marrón rojizo (Figura 71), como consecuencia de la polinización, indicando posiblemente la pérdida de receptividad del estigma, debido a la degradación de las capas pectinosas de las células de la ranura estigmática y la formación de compuestos que evitan la germinación del polen (Tandon, Manohara, Nijalingappa & Shivanna, 2001). Posterior a esto, la flor toma una coloración negra, dando paso a la senescencia del estigma (estadio 609).



Figura 71. Estadio 609. Apariencia externa e interna de inflorescencias.
Fotos: L. Chan; L. Moreno (2011).

Estadio principal de crecimiento 7: Crecimiento y desarrollo del racimo y fruto de palma de aceite *E. oleifera*

Durante el crecimiento y desarrollo del racimo y fruto de la palma de aceite *E. oleifera* se establecieron cinco estadios fenológicos significativos. Los cambios morfológicos entre estos ocurrieron de un modo continuo y gradual. En el primero, entre las 0 y 2 semanas después de la polinización, se observa la marchitez de los estigmas (Figura 72) los que tienen una coloración marrón a marrón oscuro y los pétalos y los sépalos protegen el ovario. Este estadio se corresponde con un estado temprano de desarrollo del fruto, en la fase I de crecimiento rápido del fruto (estadio 700).



Figura 72. Estadio 700. Foto: L. Moreno, (2011).

Entre las 2 y las 4 semanas después de la polinización los frutos han adquirido alrededor del 10 % de su tamaño final y se encuentran aún protegidos por los sépalos y los pétalos (Figura 73a). Su color es verde oliva brillante en las partes apical y central, y color pergamino en la base (estadio 701), y sigue el desarrollo de los frutos (Figura 73b). Aproximadamente sobre las 4-8 semanas los frutos presentan 30 % del crecimiento final (estadio 703).



Figura 73. Estadios 701 y 703, iniciales de crecimiento del fruto y del racimo. a) Estadio 701. b) Estadio 703. Fotos: L. Moreno (2011).

Entre las 9-15 semanas después de la antesis los frutos presentan 50 % del crecimiento (estadio 705). Entre las 16-18 semanas después de la antesis los frutos se encuentran en el final de la fase I de crecimiento, con un 90 % del total (Figura 74). El color de la epidermis cambia ligeramente, perdiendo la tonalidad verde oliva y tornándose oliva (estadio 709).



Figura 74. Estadio 709, crecimiento del fruto. Foto: L. Moreno (2011).

Estadio principal de crecimiento 8: Maduración del fruto

Una vez los frutos han alcanzado su máximo tamaño se inicia la maduración, que se define como el conjunto de transformaciones fisiológicas, bioquímicas, anatómicas y, en algunos casos, morfológicas que le hacen alcanzar el estado de madurez, en el cual el racimo se cosecha o se desprende de la palma y cae descomponiéndose (Gil-Albert, 1980). Al final de la fase II de crecimiento e inicio de la maduración (a partir de las 18 semanas después de la polinización, aproximadamente), el color de la epidermis comienza a cambiar para adquirir el propio de la madurez del fruto (Figura 75a), pasando de verde oliva a amarillo limón (estadio 800). Se observa el mayor cambio de coloración (Figura 75b), así como las diferentes tonalidades de verde a amarillo y naranja pálido sobre el epicarpio del fruto (estadio 803).



Figura 75. Estadios 800 (a) y 803 (b). Estadios iniciales de cambio de coloración del fruto. Fotos: L. Moreno (2011).

El racimo tiene un color naranja pálido generalizado (Figura 76a) y ya está formado completamente el endospermo (estadio 805). Los frutos muy próximos al desprendimiento o con desprendimientos entre 1 a 10 frutos por racimo han alcanzado su máximo tamaño en peso, calibre y longitud. El color de la epidermis es naranja intenso y la superficie del fruto es lisa y brillante (Figura 76b) (estadio 807).



Figura 76. Estadios 805 (a) y 807 (b). Estadios de madurez del fruto.
Fotos: L. Moreno (2011).

Los frutos han alcanzado su máxima tasa de crecimiento y se inicia el proceso de sobremadurez (Figura 77). Es caracterizado porque el fruto muestra grietas en la parte apical y comienza su abscisión de la raquila, por lo tanto, se presenta desprendimiento generalizado de frutos del racimo y sobre estos empieza el desarrollo de hongos saprofitos que le confieren una coloración gris oscura (estadio 809).



Figura 77. Estadio 809. a) Racimo. b) Frutos en la raquila. Fotos: L. Moreno (2011).

Bibliografía

- Corley, R. H., & Tinker, P. (2003). *The oil palm* (Fourth edi., p. 562). Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Gil-Albert, F. (1980). *Tratado de arboricultura frutal. Vol. I. Aspectos de la morfología y fisiología del árbol frutal.* (p. 103). Mundi-Prensa.
- Hardon, J. (1969). Interspecific hybrids in the genus *elaeis* II. Vegetative growth and yield of f1 hybrids *E. guineensis* x *E. oleifera*. *Euphycaea*, 18, 380-388.
- Meunier, J. (1991). Una posible solución genética para el control de la Pudrición del cogollo en la palma de aceite. Híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*. *Palmas*, 12(2), 39-42.
- Peláez, E. E. & Ramírez, D. P. (2004). Caracterización fisiológica de palmas africanas (*Elaeis guineensis* Jacq), *Nolí* (*Elaeis oleifera* H.B.K Cortes) e híbridos interespecíficos *Elaeis oleifera* H.B.K. x *Elaeis guineensis* Jacq. Universidad Nacional de Colombia.
- Rey, L., Gómez, P., Ayala, I., Delgado, W., & Rocha, P. (2004). Colecciones genéticas de palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq. y *Elaeis oleifera* (H.B.K.) de Cenipalma: Características de importancia para el sector palmicultor. *Palmas*, 25 (Especial), 39-48.
- Tandon, R., Manohara, T., Nijalingappa, B. & Shivanna, K. (2001). Pollination and Pollen-pistil Interaction in Oil Palm, *Elaeis guineensis*. *Annals of botany*, 87, 831-838. doi:10.1006/anbo.2001.1421.
- Torres, M., Rey, L., Gelves, F. & Santacruz, L. (2004). Evaluación del comportamiento de los híbridos interespecíficos *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*, en la plantación Guaicaramo S. A. *Palmas*, 25 (Especial), 350-357.
- Zambrano, J. (2004). Los híbridos interespecíficos *Elaeis oleifera* H.B.K x *Elaeis guineensis* Jacq. Una alternativa de renovación para la Zona Oriental en Colombia. *Palmas*, 25 (Especial), 339-349.



CAPÍTULO 5

Escala BBCH para la descripción del desarrollo reproductivo del híbrido OxG

Autores

Paola Andrea Hormaza Martínez
Hernán Mauricio Romero Angulo

Los híbridos tienen generalmente características intermedias de los dos progenitores. Presentan gran corpulencia con relación a especies parentales, tienen el arreglo de los folíolos, la altura, la caída de las bases peciolares, las espatas persistentes, la partenocarpia, la forma y el color del fruto, además de la longitud de las hojas, el grosor de los pecíolos y la raquis, la longitud y el ancho de los folíolos y el grosor del estípite, características de *E. oleifera* (Vallejo, 1976; Corley & Tinker, 2003). El material híbrido tiene predominancia de inflorescencias mixtas (andróginas) en los primeros años de producción, condición que disminuye gradualmente hasta desaparecer. La inflorescencia femenina se encuentra recubierta por un material fibroso llamado bráctea, pero comúnmente se le llama “espata”, un término ambiguo para su denominación. Esta estructura cubre la inflorescencia desde su emisión y se conservan vestigios de fibras hasta la madurez del racimo. En ocasiones estas dificultan las labores como la polinización, la cosecha y el procesamiento en la planta de beneficio (Torres, Rey, Gelves & Santacruz, 2004).

Sin embargo, presenta algunos atributos como menor tasa de crecimiento del estípite, una característica bastante interesante en el período de explotación económica, además de una producción de aceite con mayor contenido de ácidos grasos insaturados, siendo, por tanto, más líquido a temperatura ambiente. A pesar de las particularidades de interés agronómico, tiene ciertos aspectos limitantes para su explotación en plantaciones comerciales, como es la baja producción de aceite, debido a una baja relación aceite/mesocarpio y frutos normales/racimo.

Existen algunos problemas que se han detectado en los híbridos interespecíficos (HIE), como es la aparición de anomalías en inflorescencias masculinas, un fenómeno conocido como androgénesis (ginandromorfía). En este disturbio la arquitectura de la inflorescencia se asemeja a las masculinas normales, mostrando espiguillas elipsoides cilíndricas, pero en lugar de flores masculinas se desarrollan pequeñas flores femeninas y, por tanto, es incapaz de producir polen. Además se ve afectado por el escaso atractivo de los polinizadores de la especie africana a las inflorescencias del HIE y menor viabilidad del polen producido.

Debido a estas características, las plantaciones comerciales de HIE requieren polinización asistida para lograr su potencial productivo, lo que eleva el costo de elaboración. Siendo necesario producir polen o comprarlo, así como mantener rondas para la polinización cada dos o tres días, para identificar y polinizar en el período apropiado las inflorescencias femeninas (Sánchez, 2008).

Estadio principal de crecimiento 5: Emergencia de la inflorescencia

El crecimiento de las inflorescencias tiene tres estadios: el primero es el inicio de la formación de la estructura dentro del estípite (no reconocible externamente y que ocurre en las hojas negativas, es decir, en los primordios foliares que no han emergido), el segundo es la emergencia de la inflorescencia en la axila de cada hoja (en el que comienza la fase de crecimiento rápido) y el tercero se presenta entre el momento de apertura foliar y la aparición visible de la inflorescencia. Aún no se observa el sexo debido a la cobertura de las brácteas de protección. La inflorescencia está cubierta en su estadio juvenil por la bráctea peduncular y el prófalo. En este estadio la diferenciación sexual ya está definida, pero no es apreciable por la cobertura de protección adherida y solidificada. En este momento la estructura floral se denomina “no diferenciada (ND)” y constituye el período más largo del desarrollo floral.

La inflorescencia está adherida entre la axila de la hoja y el estípite. En este estadio no es visible, ya que se encuentra aplanada en la parte posterior de la axila, muy adherida a la base peciolar (estadio 500). La inflorescencia es visible en la zona axilar de la hoja, se encuentra cubierta por dos estructuras fibrosas, duras y leñosas denominadas bráctea peduncular y prófalo (Tandon, Manohara, Nijalingappa, & Shivanna, 2001), las cuales aparentemente están fusionadas y no son diferenciables a simple vista pues el prófalo recubre la bráctea peduncular (estadio 501). En este estadio la inflorescencia no es visible fácilmente, ya que aún se encuentra aplanada en la parte posterior de la axila de la hoja e inicia el proceso de separación de la estructura de la base de la hoja y del estípite, y empieza a tornarse de color marrón. La aparición de la estructura floral es visible en un 10 % (Figura 78).



Figura 78. Estadio 501. Estructura floral cerrada. Se observan el prófalo (pf) fusionado con la bráctea peduncular. Foto: P. Hormaza (2010).



Figura 79. Estadio 503. Emergencia de la inflorescencia en un 30 %. Foto: P. Hormaza (2010).

Cuando la emergencia de la inflorescencia ha alcanzado el 30 % de su tamaño total ocurre un alargamiento antes que un engrosamiento de la estructura (estadio 503, Figura 79). La estructura se ubica en el sentido contrario a la filotaxia de la palma, en sentido descendente.

En el estadio 505 la inflorescencia ha alcanzado el 50 % de su tamaño final. El prófalo inicia su fragmentación, su textura es más fibrosa y menos coriácea, y se visualiza el ápice de la bráctea peduncular; la fragmentación se da debido a que continúa el engrosamiento de la estructura floral, mientras que la bráctea peduncular aún cubre completamente la estructura (Figura 80). Cuando la estructura floral alcanza el 90 % del tamaño total (estadio 509), la bráctea peduncular está completamente expuesta, en algunos casos existen vestigios del prófalo que continúa cubriéndola y posteriormente se empiezan a ver pequeñas cuarteaduras en la parte central; inicia su rasgamiento muy leve y en este momento se puede determinar que la inflorescencia se encuentra cercana al inicio de los estadios de preantesis (Figura 81).



Figura 80. Estadio 505. Emergencia del 50 % del eje de la inflorescencia. El prófalo empieza a fragmentarse. Fotos: P. Hormaza (2010).



Figura 81. Estadio 509. Emergencia del 90 % del eje de la inflorescencia. El prófalo se ha rasgado y se observan vestigios de este. Fotos: P. Hormaza (2010).

Estadio principal de crecimiento 6: Floración

Comienza con el rasgamiento de la bráctea peduncular en la altura media del eje de la inflorescencia. En este momento se visualizan las espiguillas o raquillas, las cuales se encuentran apretadas hacia el centro. Se diferencia el sexo de la flor, ya sea masculina o femenina, y las raquillas y las espiguillas presentan coloración marrón. En la inflorescencia femenina aún no se aprecian claramente los botones florales y este estadio es denominado preantesis I (estadio 601, Figura 82). En este momento han transcurrido 98 días aproximadamente desde la emergencia de la estructura (estadio 501). La duración de este período es de cinco días y se ubica en la hoja 20. En la inflorescencia masculina la preantesis I se caracteriza porque la bráctea peduncular se rasga y se observan las espiguillas de color marrón, con forma digi-tiforme o cilíndrica apretadas hacia el centro (Figura 82).



Figura 82. Estadio 601 (a, b y c). Inflorescencias femeninas en preantesis I (d y e) Inflorescencias masculinas en preantesis I del híbrido interespecífico O×G. Fotos: P. Hormaza (2010).

En el estadio 602, correspondiente a la preantesis II, la bráctea peduncular se rasga en un 30 % de su longitud total. En algunos casos se observa la cobertura del prófalo que, aunque se ha rasgado, sigue cubriendo la base del eje de la inflorescencia. Hay fisuras sobre la bráctea peduncular que permiten visualizar las raquillas y las flores cerradas cubiertas por la bráctea del verticilo que están insertas en ella (Figura 83). El color de los tépalos de la inflorescencia femenina es marrón y, en

algunos casos, verde amarillento. En este estadio los tépalos están cerrados (Figura 83). La duración en la inflorescencia femenina es alrededor de cinco días después de haberse presentado la preantesis I. La posición filotáxica, en donde ocurre este estadio, es en la hoja 21. En las inflorescencias masculinas las espiguillas cilíndricas se encuentran parcialmente expuestas y libres, debido a que su bráctea peduncular está más rasgada, mientras que en las inflorescencias masculinas han transcurrido ocho días de haberse presentado la preantesis I (Figura 83).



Figura 83. Estadio 602. Inflorescencia femenina en preantesis II del híbrido interespecífico OxG. Fotos: P. Hormaza (2010).

La preantesis II (estadio 603) en todas las inflorescencias comienza cuando el prófilo inicia su proceso de desintegración, la bráctea peduncular se rasga entre la superficie y en medio de las grietas se pueden observar los botones florales femeninos engrosados, los cuales han alcanzado su crecimiento y han cambiado su coloración pasando de marrón a amarillo quemado. Han transcurrido alrededor de cuatro días de haberse presentado la preantesis I y puede ocurrir cambio de la posición foliar. Entre tanto, la bráctea peduncular permanece aún recubriendo completamente la inflorescencia (Figura 84).



Figura 84. Estadio 603. Inflorescencia femenina en el estadio de preantesis III. Híbrido interespecífico OxG. Fotos: P. Hormaza (2010).

En la inflorescencia masculina la preantesis III ocurre por la elongación del eje, provocando la ruptura total de la bráctea peduncular y permitiendo que las raquilas o espiguillas se encuentren más separadas entre sí. En este estadio las espiguillas y las brácteas florales están más separadas, siendo fácil la observación de los botones florales (Figura 84).

El estadio de antesis inicia cuando el estigma sésil con sus tres lóbulos inicia su etapa receptiva (estadio 607), estos lóbulos se abren y exponen sus superficies exteriores. Aunque en el híbrido interespecífico O_xG la bráctea peduncular es leñosa, fibrosa y continúa firmemente adherida a la superficie longitudinal de la inflorescencia, impidiendo la observación fácil de los lóbulos del estigma (Figura 85). El perianto y los estigmas de la flor femenina madura son de color amarillo claro o beige y se convierten progresivamente en marrón oscuro a negro, la antesis puede presentarse de forma escalonada con duración de 3 a 4 días hasta varias semanas según lo reportado por Corley & Tinker, 2003 (Figura 86). Por consiguiente, la asincronía en la antesis del híbrido interespecífico O_xG ocasiona la formación y desarrollo desigual de los racimos y eleva la aparición de frutos partenocárpicos en lugares en donde la polinización asistida se realiza manualmente. En la inflorescencia masculina el estadio de antesis se considera cuando más del 70 % de las flores se han abierto desde la base de cada espiguilla hacia la parte apical, es decir, de forma ascendente.



Figura 85. Estadio 607, inflorescencia femenina del híbrido interespecífico O_xG en antesis. Fotos: P. Hormaza (2010).

El último estadio de desarrollo de la inflorescencia es la polinización (609), que en palma de aceite es cruzada. En la inflorescencia femenina los lóbulos del perianto son pequeños y no muestran ningún cambio visible durante el desarrollo floral. Cuando se abren muestran la superficie de los lóbulos del estigma que se vuelve receptivo y sigue siéndolo por 24 horas. El período de receptividad del estigma es bajo cuando los lóbulos se abren parcialmente, mientras que cuando estos están completamente expuestos se registra la máxima germinación del polen y se hace visible el exudado estigmático (Tandon *et al.*, 2001).



Figura 86. Asincronía en la inflorescencia en el material híbrido interespecífico OxG. a) Flores con apertura de lóbulos estigmáticos asincrónicos. b) Crecimiento y desarrollo heterogéneo de frutos en el racimo. PA-II (preantesis II). Fotos: L. Moreno; P. Hormaza (2010).

La receptividad del estigma está asociada con la apertura de los lóbulos estigmáticos y la secreción de una limitada cantidad de exudado, es así como después de 24 horas a la ocurrencia de la antesis, los lóbulos estigmáticos desarrollan antocianinas, tornándose normalmente amarillo oscuro a marrón oscuro o negro (RGB 45-97-70). Existen casos en donde se expresan las características de coloración de los lóbulos provenientes del parental *E. guineensis*, tornándose de color rosado pálido después de la polinización (Figura 87). Posterior a la polinización, la flor del híbrido interespecífico produce una secreción abundante en la ranura estigmática y en el conducto estilar. Esta llena el surco estigmático e incluso llega a la región papilada del estigma, mostrando una coloración rojo sangría (RGB 155-37-2), producto de la degradación de las capas pectinosas de las células que recubren la ranura estigmática, se forman compuestos antocianínicos que impiden la germinación del polen, lo que indica la pérdida de receptividad por parte de la flor femenina.



Figura 87. Variaciones de color en los lóbulos del estigma en el híbrido interespecífico OxG.

Coloración típica marrón oscuro o coloración rosado pálido. En ambos casos la polinización fue realizada con 24 horas de anterioridad (estadio 609). Fotos: En la inflorescencia masculina no hay estadio de polinización y está determinado por el final de la floración (estadio 609). Las flores se tornan de color marrón debido a

que sus anteras comienzan a secarse, no hay presencia de polen y las espiguillas empiezan a degradarse.

Estadio principal de crecimiento 7: Desarrollo del fruto

El estadio principal de crecimiento del fruto del híbrido interespecífico inicia cuando la flor femenina está fecundada y se caracteriza porque los lóbulos del estigma se endurecen y cambian de color marrón medio a negro. Este cambio puede ocurrir 24 o 48 horas después de la polinización y, posteriormente, comienza el hinchamiento del ovario (estadio 700, Figura 88). El fruto presenta una fase de crecimiento rápido en tamaño hasta los 45 días. La coloración del exocarpio de las drupas un día después de la polinización es brillante, con color blanco perla en la parte basal (RGB 207-201-156), negro grafito en el centro (RGB 46-41-37) con una franja amarilla y la zona apical del fruto es color marrón pálido (RGB 148-120-81). Se conservan los lóbulos del estigma, los cuales han empezado a oscurecerse.

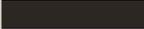
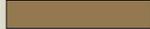
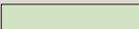
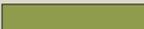
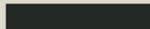
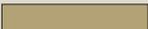
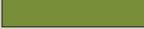
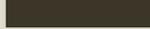
En el racimo los frutos se encuentran protegidos por las brácteas del verticilo, las cuales lo cubren en su totalidad impidiendo la exposición del exocarpio y evitando la formación de clorofila. El racimo tiene la apariencia de una inflorescencia en antesis, pero como los lóbulos del estigma son oscuros, producto de la polinización, las raquillas presentan una cobertura similar a los tomentos (capa más o menos gruesa de pelos que cubre por completo los órganos de algunas plantas). Esta estructura presenta una coloración marrón pálido (RGB 148-120-81), la que se desprende de las raquillas con dificultad (estadio 700). En este no es identificable el endospermo ni el cuesco. Aproximadamente ocho días después de la antesis el fruto tiene un aspecto brillante y es de color verde turquesa pálido en la base (RGB 209-227-193), verde helecho en el centro (RGB 143-156-78) y negro grafito intenso en el ápice (RGB 38-42-39). No se diferencia el cuesco, que presenta una textura blanda con una coloración amarillo oro (RGB 178-162-117) (estadio 701).

Pasados 15 días después de la antesis el fruto, presenta un aspecto brillante y es de color verde turquesa pálido en la base (RGB 207-230-205), verde helecho en el centro (RGB 122-142-56) y marrón sepia en el ápice (RGB 61-55-40). Esta coloración se mantiene hasta 30 días después de la antesis; no se diferencia el cuesco del endospermo, este último presenta una textura blanda con una coloración crema claro (RGB 185-187-160) y está formado básicamente por agua (estadio 703).

A los 45 días posteriores a la antesis la coloración externa de las drupas es verde brillante con colores amarillo en la parte basal (RGB 103-116-77), verde claro en el centro (RGB 50-46-10) y verde oscuro en la parte apical (RGB 32-26-23). Los frutos tienen los rastros de los estigmas en la parte apical y se pueden despren-

der fácilmente del racimo sin dañarse. Además, se pueden observar las brácteas en la parte basal del fruto. Las raquillas son flexibles, con una cobertura similar al tomento, con una coloración pardo grisáceo oscuro (RGB 124-107-100). Internamente algunos frutos pueden tener una formación inicial de cuesco y, si existe, es de aspecto blando con una coloración parda pálida (RGB 175-144-112), que rodea a un endospermo de consistencia líquida (estadio 705).

Entre los 46 y 100 días después de la antesis, el crecimiento en diámetro del fruto es mínimo y su coloración exterior es verde oscuro opalescente, presentando un cambio muy leve de color durante este ciclo. La coloración medida, según la paleta de color, muestra en la zona apical el color pardo negruzco (RGB 46-43-29), en la central un color verde botella (RGB 64-65-20) y en la basal, un verde follaje (RGB 39-106-42). A partir de este momento los frutos conservan los estigmas en la parte apical, que son fácilmente removibles, las raquillas son flexibles y aún se encuentran cubiertas de tomento. En el interior del fruto se aprecia la formación del cuesco, que inicia su proceso de endurecimiento. Su coloración es marrón nuez (RGB 134-102-72). En este estadio ya se diferencian el cuesco y el endospermo, el cual tiene una coloración blanquecina, textura coloide y blanda. El mesocarpio no presenta fibras que impidan realizar un corte transversal (estadio 709, Figura 88).

Tiempo	Color de la raquilla	Basal	Central	Apical	Cuesco
1 Día (Estadio 700)	(133-107-58) 	(207-201-156)* 	(46-41-37) 	(148-120-81) 	(161-113-46) 
8 Días (Estadio 701)	(155-149-138) 	(209-227-193) 	(143-156-78) 	(38-42-39) 	(178-162-117) 
15 Días (Estadio 703)	(163-132-99) 	(207-230-205) 	(122-142-56) 	(61-55-40) 	(185-187-160) 

Continúa en la página siguiente

Tiempo	Color de la raquilla	Basal	Central	Apical	Cuesco
37-45 Días (Estadio 750)	(124-107-100)	(145-112-42) (50-46-10) (32-26-23)			(175-144-112)
46-100 Días (Estadio 709)	(103-116-77)	(139-106-42) (64-65-20) (46-43-29)			(134-102-72)

Figura 88. Estadios fenológicos para el desarrollo del fruto en el híbrido interespecífico OxG. Fotos: P. Hormaza y L. Moreno (2010).

*Color escala RGB (Red-Green-Blue).

Estadio principal de crecimiento 8: Maduración del fruto y del racimo

La maduración se define como el conjunto de cambios externos que un fruto experimenta cuando completa su crecimiento. Esta fase incluye procesos como cambios en la coloración, el descenso en el contenido en almidón, pérdida de firmeza y otros físicos y químicos. El exocarpio del fruto de palma de aceite híbrido interespecífico OxG, en sus estados iniciales, presenta un color verde claro debido a que el fruto está cubierto por seis brácteas de protección y lentamente cambia el color a un verde más oscuro, para luego pasar a un verde amarillento, posteriormente a un amarillo-naranja claro y, finalmente, a un naranja intenso. Este último color del exocarpio es el indicativo de madurez del fruto.

Estas modificaciones en la coloración se deben a la degradación de la clorofila por la actividad de enzimas, como la clorofilasa y la clorofila oxidasa (Azcón-Bieto & Talón, 2000), como consecuencia de procesos oxidativos, así como por la síntesis, desenmascaramiento y predominancia de otros pigmentos como los rojos y amarillos (carotenoides) a medida que el fruto adquiere las características de madurez. La degradación de la clorofila comienza con la disociación del residuo de fitol y del anillo de porfirina de la molécula de clorofila, reacción que es catalizada por la enzima clorofilasa (Salisbury & Ross, 1994). La pulpa o mesocarpio también cambió de color durante la maduración del fruto y pasó de uno blanco-crema en los estados iniciales a un color naranja intenso en la madurez.

Los racimos empiezan a presentar cambios de coloración de verde a verde amarillento alrededor de los 90 a 115 días posteriores a la antesis; los frutos externos presentan coloración verde y se observan visos amarillos mientras que los frutos internos presentan coloraciones amarillentas. La coloración del exocarpio del fruto cambia de forma generalizada a verde amarillento, en donde se puede observar el inicio de la aparición de carotenos, a partir de este momento se inicia el estadio de maduración del fruto.

Los cambios en la coloración externa del fruto se pueden observar en la parte apical que pasa a un amarillo oliva más intenso (RGB 100-87-54), amarillo miel en la parte central (RGB 160-121-49) y en la parte basal amarillo azafrán (RGB 236-196-112). Las raquillas están más lignificadas pero aún son flexibles y su coloración es verde grisáceo clasificado en (RGB 131-131-106), la separación de estas estructuras entre sí es reducida y aún se encuentra cubierta con tomento, aunque en menor proporción. Al interior del fruto se presenta el cuesco que inicia su proceso de lignificación y cambia drásticamente su coloración, la cual empieza a tornarse la coloración pardo oscuro, identificada como (RGB 96-70-47), en este estadio la textura del endospermo gradualmente deja de ser coloide; generalmente se presenta de color blanco y de consistencia dura, ha iniciado su proceso de endurecimiento y el mesocarpio no presenta fibras que impidan realizar un corte transversal (estadio 800, Figura 89).

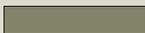
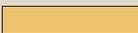
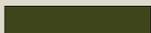
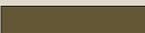
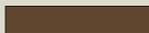
Los racimos entre los 116 y los 125 DDA; presentan un cambio drástico en la coloración externa de las drupas que cambian viéndose un mosaico tricolor, de tal manera que el racimo presenta frutos completamente verdes y frutos con coloraciones amarillo y naranja tenue, generalmente los frutos externos presentan color amarillo limón a naranja pálido y los frutos internos presentan coloración amarillo melón a naranja claro; el mesocarpio es de color naranja claro y la viscosidad empieza a percibirse al tacto. Los frutos presentan una coloración basal verde oliva (RGB 219-162-82), central marrón cobre perlado (RGB 137-56-16) y apical un marrón oscuro (RGB 98-63-34). Los frutos conservan los estigmas en la parte apical, pero se inicia la degradación de estos, las raquillas se lignifican aún más, la separación entre ellas es mayor y su coloración es gris oscura perlada (RGB 126-114-118); aún se encuentra cubiertas con tomento que es lo que le da esta coloración a la espina de la raquilla. A partir de este momento, al interior del fruto el cuesco es lignificado con una coloración marrón caoba (RGB 85-57-36), el endospermo es sólido y de coloración blanco o blanco cremoso y el mesocarpio presenta fibras que impiden realizar un corte transversal (estadio 803).

Desde los 126 a 139 días después de la antesis se pierde el mosaico tricolor del racimo, los frutos presentan una coloración amarilla oscura o anaranjada ligera y se presenta de forma uniforme tanto en la conformación global del racimo como en el fruto, el cual presenta una coloración apical naranja cobrizo (RGB 116-62-35),

en la zona central marrón cobrizo perlado (RGB 144-62-16); y en la zona basal, un marrón ocre (RGB 202-140-30); las raquillas inician la pérdida de su cobertura y se empiezan a observar de color verde. Al interior del fruto el cuesco está completamente lignificado de coloración marrón muy oscuro y ha aumentado su espesor (RGB 62-36-24), de aquí en adelante el endospermo es sólido y de color blanco, y el mesocarpio presenta fibras más formadas (estadio 805). La uniformidad de los colores es muy evidente. En este momento de desarrollo de la maduración ya se identifica completamente la presencia de los frutos partenocárpicos.

A partir de los 155 días después de la antesis la coloración del exocarpio del fruto ha cambiado pasando de amarillo oscuro a naranja medio, es allí donde se observa la formación de aceite. En cuanto a los cambios en la coloración externa del fruto, se puede observar que la parte apical pasa de amarillo a naranja perlado (RGB 173-82-42), en la zona central se observa un color rojo anaranjado (RGB 194-63-24) y en el área basal un color rojo anaranjado más intenso (RGB 194-72-38). Los frutos conservan los estigmas en la parte apical que están deshidratados y lignificados, en este estadio los frutos no presentan desprendimiento de las raquillas de forma natural, pero se pueden desprender de forma manual con facilidad; las raquillas son más lignificadas y no son flexibles, su coloración es verde beige (RGB 160-161-112). Al interior del fruto se presenta el cuesco que está completamente lignificado y muy duro, su coloración es marrón muy oscuro o negruzco, típico de esta estructura (RGB 53-32-24), de aquí en adelante se encuentra rodeada por la presencia de unas fibras, en este estadio la textura del endospermo es sólida (estadio 807).

A partir de los 170 días después de antesis los frutos han alcanzado el estadio 809, se inicia el proceso de sobremaduración, el cual se caracteriza porque el exocarpio del fruto presenta de 10 a 40 % de la superficie de color pardo y con grietas, y las raquillas, mayor apertura y lignificación (Figura 89). Este fruto sobremaduro no es considerado apto para el proceso de transformación industrial.

Tiempo	Color de la raquila	Basal	Central	Apical	Cuesco
101-115 Días (Estadio 800)	(131-131-106)	(236-196-112)**	(63-69-12)	(100-87-54)	(96-70-47)
					
					

Continúa en la página siguiente

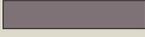
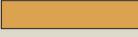
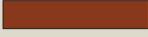
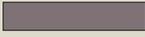
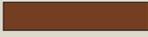
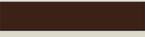
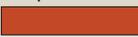
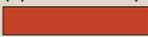
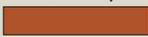
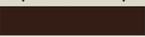
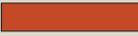
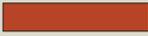
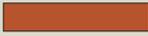
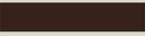
Tiempo	Color de la raquilla	Basal	Central	Apical	Cuesco
116-125 Días (Estadio 803)	(126-114-118)  	(219-162-82) (137-56-16) (98-63-34) 			(85-57-36)  
126-139 Días (Estadio 805)	(126-114-118)  	(170-83-23) (144-62-16) (116-62-35) 			(62-36-24)  
140-152 Días (Estadio 807)	(160-161-112)  	(194-72-38) (194-63-24) (173-82-42) 			(53-32-24)  
152-160 Días (Estadio 809)		(194-73-28) (184-68-29) (180-84-46) 			(55-37-30)  

Figura 89. Estadios fenológicos para la maduración del fruto en el híbrido interespecífico OxG. Fotos: P. Hormaza y L. Moreno (2010).
**Color escala RGB (Red-Green-Blue).

Bibliografía

- Azcón-Bieto, J. & Talón, M. (2000). *Fisiología y bioquímica vegetal* (p. 581). Madrid: McGraw-Hill Interamericana.
- Corley, R. H. & Tinker, P. (2003a). *The oil palm* (Fourth edi., p. 562). Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Corley, R. H. & Tinker, P. (2003b). *The oil palm* (Fourth edi., p. 562). Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Salisbury, F. & Ross, C. (1994). *Fisiología vegetal* (cuarta). México: Grupo Editorial Iberoamericana.
- Sánchez, G. (2008). *Repetibilidade da produção de cachos, anomalias florais e germinação de pólen de híbridos interespecíficos entre o caiaué e o dendezeiro*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia Universidade Federal do Amazonas.
- Tandon, R., Manohara, T., Nijalingappa, B. & Shivanna, K. (2001). Pollination and Pollen-pistil Interaction in Oil Palm, *Elaeis guineensis*. *Annals of botany*, 87, 831-838. doi:10.1006/anbo.2001.1421
- Torres, M., Rey, L., Gelves, F. & Santacruz, L. (2004). Evaluación del comportamiento de los híbridos interespecíficos *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*, en la plantación Guaicaramo S. A. *Palmas*, 25 (Especial), 350-357.
- Vallejo, R. (1976). *Estudio de poblaciones espontáneas de Nolí (Elaeis oleifera H.B.K. Cortes) en Colombia*. Universidad Nacional.



CAPÍTULO 6

Aplicaciones de la fenología y
la utilización de la escala BBCH
en la producción comercial de
palma de aceite

Autores

Diana Carolina Forero Hernández

Leidy Paola Moreno Caicedo

Hernán Mauricio Romero Angulo

¿Qué es la fenología?

La utilización de este concepto es tan antigua como la civilización misma. Cuando el hombre se volvió sedentario se estableció en un lugar y comenzó la práctica de sembrar semillas para que las plantas crecieran y poder cosechar los frutos. Muy pronto se dio cuenta de que el éxito de este proceso estaba determinado por las limitaciones ambientales en cada uno de los estadios del desarrollo de estas. Existen registros escritos de observaciones fenológicas que datan de hace más de 3.000 años en China y es posible encontrar referencias fenológicas en textos de la Biblia (Schwartz, 2003).

La fenología es la ciencia que estudia los fenómenos biológicos que se presentan periódicamente, acomodados a ritmos estacionales. El término viene de las raíces griegas *Phaino*, que significa mostrar, manifestar, y *logos*, tratado. Así, esta puede ser entendida como el estudio de los eventos periódicos naturales involucrados en la vida de las plantas (Volpe, 1992; Schwartz, 2003).

Las observaciones fenológicas han sido usadas por los agricultores para maximizar la producción con una correcta sincronización de las labores agrícolas con el crecimiento del cultivo, sus fases de desarrollo y la interacción con factores bióticos y abióticos. Hoy es usada también para hacer el seguimiento del efecto del calentamiento global en los cultivos y las predicciones sobre el impacto del cambio climático en la agricultura, en particular, y en el medio ambiente, en general. La toma de datos fenológicos es un instrumento fundamental para evaluar las decisiones que afectarán la vida del cultivo, como la planificación de la cosecha, la distribución de la mano de obra, la prevención de la necesidad de determinadas prácticas culturales como control fitosanitario, riego, control de las arvenses (competencias), etc.

La fenología y su relación con las condiciones ambientales

En los ecosistemas o en las regiones donde se desarrollan actividades agrícolas, generalmente, no se presentan de forma continua las condiciones ambientales favorables para todas las funciones de la comunidad de plantas o cultivos. Lo que si es frecuente es que a lo largo del año se produzcan cambios estacionales en el clima y, por lo mismo, en la disponibilidad de los recursos, lo que obliga a las plantas a crear mecanismos de cambio estacional en morfología y fisiología para poder adaptarse. El estudio de estos está fuertemente ligado a la fenología, la cual ha sido definida como el estudio temporal de eventos biológicos recurrentes, con la finalidad de interpretar las causas bióticas y abióticas de tales secuencias (Montenegro & Ginocchio, 1999). Por lo tanto, es la ciencia que investiga los cambios visibles que sufren las plantas (y, en general, cualquier ser vivo) durante su ciclo de vida en relación con las condiciones climáticas y atmosféricas circundantes. Por ende, a cada una de las fases del desarrollo anual de la planta (desarrollo de hojas, floración, desarrollo del fruto, etc.) se le denomina estadio fenológico.

La ocurrencia y la duración de los estadios están determinadas por características genéticas de las especies, modificadas e influenciadas por los factores climáticos presentes. Una planta puede presentar desarrollo diferente de acuerdo con las condiciones climáticas. La fenología es una herramienta que permite hacer referencia a un estadio concreto de la planta, independientemente de las fechas del calendario, y se centra en la descripción física del suceso (escala fenológica).

De igual modo, la dinámica de las actividades vegetativas y reproductivas de los seres vivos, lo que se conoce como fenología y la aparición, transformación o desaparición rápida de los órganos vegetales se llama fase fenológica o fenofase (Azcues, 2000), la cual se caracteriza por los cambios de tipo morfofisiológico. El intervalo entre dos fenofases constituye una etapa, es decir, que cada estadio característico de crecimiento de los órganos vegetativos y reproductivos es un estadio fenológico (Valor & Bautista, 2001).

Por otra parte, los cambios en el ambiente ejercen diferentes presiones en las plantas e influyen en forma prácticamente única en el desarrollo de cada una de las especies, dando como resultado diversas formas de crecimiento, interpretadas como caminos distintos que han seguido para adaptarse a un determinado ambiente. No obstante, es posible identificar varios grupos funcionales de plantas que responden de manera similar a los cambios ambientales, aunque presentan diferencias con otros grupos, de tal manera que se pueden encontrar especies cuya floración u otra fenofase esté controlada por la temperatura, un fotoperíodo o la disponibilidad de

agua como factores que desencadenan un determinado evento fenológico. (Alvarado, Foroughbakhch, Jurado & Rocha, 2002).

La fenología es un buen instrumento para comunicar las características del clima en general y, especialmente, con los impactos del cambio climático, es decir, puede ser utilizada como una herramienta para monitorear estos sucesos tanto en las plantas como en los animales. Por lo tanto, centra su estudio en lo que refiere a la descripción y el análisis de los cambios externos y las variaciones cualitativas o cuantitativas, debidas a los estímulos ambientales. Dado que los eventos biológicos se producen de forma cíclica, normalmente, los estadios fenológicos (llamados fenofases) recogen diferentes fases de crecimiento reproductivo y/o vegetativo de las plantas. Tales eventos se capturan mediante observaciones de variables que pueden ser generales o detalladas, colectivas o específicas, cuantitativas o cualitativas, directas o indirectas. Las fases fenológicas reflejan condiciones ambientales y factores genéticos, además de las características del clima. Por consiguiente, una larga serie de observaciones fenológicas puede ser utilizada para detectar la variabilidad del clima y/o el cambio climático. Por ello algunos investigadores han referenciado que el aumento en la temperatura modifica las fases fenológicas de la planta, en donde los ciclos cortos de altas o bajas temperaturas pueden afectar las yemas florales, la floración y, con ello, los rendimientos (Valor & Bautista, 2001).

En las regiones tropicales la mayoría de las especies vegetales son de tipo leñosas y tienen ciclos de producción de nuevas hojas y flores en períodos específicos, en forma continua, presentando adaptaciones a factores bióticos y/o abióticos. Tal es el caso de las palmas que se pueden ubicar en distintas condiciones ambientales contrastantes y exhiben gran variedad de formas y hábitos de crecimiento (Jaana, Hanna & Oksanen, 2004). Una de las etapas más críticas para este grupo de plantas es la de establecimiento que, de acuerdo con Tomlinson (citado por Henderson, 2002), consiste en un período largo de los primeros estadios de desarrollo, en el cual el tallo alcanza el máximo diámetro. Después de esto, la planta empieza a alargar más el tallo y logra el potencial reproductivo. En esta condición los cambios en las plantas están relacionados principalmente con las alteraciones en la pluviosidad, que determinan la disponibilidad del agua para las plantas. Entre tanto, en las regiones templadas las variaciones anuales en la temperatura y la duración del día están acompañados de cambios fisiológicos determinantes del crecimiento vegetativo, la floración y la fructificación. Por ejemplo, la floración se produce en respuesta a modificaciones en la duración del día y en la temperatura.

Una muestra del impacto de las condiciones ambientales en la fenología y el desarrollo de la palma africana (Legros *et al.*, 2009) está dada por la ocurrencia del déficit hídrico, ya que afecta el crecimiento vegetativo en tiempo real, especialmente la ganancia de masa de la hoja y el estípote. En el filocrono (período que media entre

la aparición secuencial de las hojas en el tallo principal de la planta debido a que desaparece el estrés), se produce una rápida aparición y expansión de las hojas, comportamiento que se denomina plasticidad del desarrollo (Tefaye, Walker & Tsubo, 2006). Por el contrario, el crecimiento de los órganos reproductivos y su principal componente de desarrollo, la frecuencia de aparición de las inflorescencias femeninas, es afectada por el déficit hídrico 29 meses antes de la cosecha de los racimos.

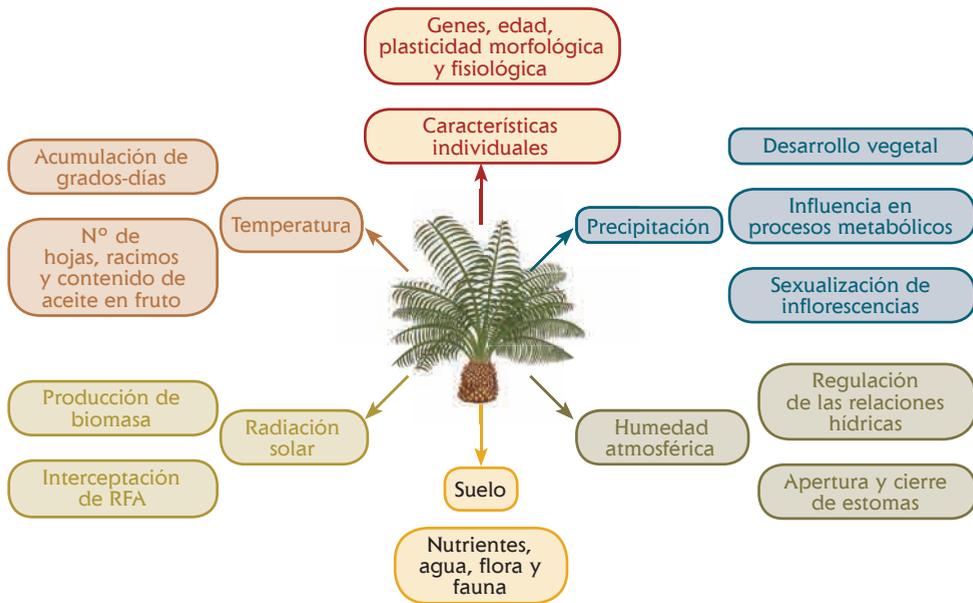


Figura 90. Influencia de las variables climáticas sobre la fenología.

Utilización de la escala BBCH en el establecimiento de indicadores de cosecha en el híbrido OxG

La escala BBCH describe el desarrollo de las especies vegetales, independiente de la variación en el tiempo. Los principios básicos de esta utilizan características morfológicas para la representación de los estadios o las etapas de desarrollo. El mismo código se aplica en forma similar en fases fenológicas en diferentes especies. La adecuada identificación de los estadios fenológicos de las plantas es muy importante para la caracterización varietal, para la conducción de las plantaciones (tratamientos fitosanitarios y hormonales, labores de poda, etc.) e incluso para las empresas de seguros, que pagan diferentes indemnizaciones según el daño (helada, granizo, etc.), ocurra en uno u otro estadio. Las claves fenológicas utilizadas hasta ahora, como las clásicas de Fleckinger para los frutales, no cumplen con los requisitos que ahora se consideran necesarios: que describan el ciclo completo de

desarrollo (y no solo una etapa del desarrollo ontológico ej.: la floración), que utilicen códigos numéricos (para que puedan ser usados en bases de datos) y que sirvan para todas las plantas cultivadas y malas hierbas (Meier *et al.*, 2009).

Dentro de las aplicaciones de la escala BBCH en palma de aceite está la determinación del punto óptimo para la cosecha de los racimos, un parámetro importante dentro de las labores de cultivo de las plantaciones, debido a que la actividad de cosecha y la recolección en la agroindustria representan cerca del 30 % de los costos de producción. De allí la importancia de tener criterios adecuados para inferir en la madurez de los racimos y realizar el corte de los mismos en su punto con destino a la transformación industrial, de modo que el racimo presente el máximo contenido de aceite y que no haya alteraciones en calidad.

Según varios autores, el racimo de palma se encuentra en su madurez óptima cuando un número determinado de frutos por racimo se desprende espontáneamente, lo cual varía de acuerdo con el material genético, la calidad deseada de aceite y la época del año en la que se recolecta. Como el proceso de madurez de los frutos es paulatino, el estado de madurez es variable para los frutos en el mismo racimo (Cayón, 1996).

Considerar como criterio de cosecha el cambio de coloración del fruto en el racimo no es un indicador confiable para realizar el corte de racimos de palma híbrido interespecífico O_xG, esto lo demuestran los resultados obtenidos en el color de los frutos para los últimos tres estadios fenológicos evaluados, 806, 807 y 809, donde se revelaron que los valores en la escala RGB solamente varían dentro de la escala del rojo. Además, se pudo evidenciar que los frutos de una raquila no maduran al mismo tiempo debido a la variación leve en la apertura floral y, por ende, en el momento de la polinización, un claro efecto de la asincronía floral propia de este material, que en algunas inflorescencias la apertura de los botones florales duró hasta dos semanas. Asimismo, se encontró que los frutos ubicados al final de la raquila son los primeros que maduran, mientras que los del ápice lo hacen después, es decir, que en el híbrido la maduración de los frutos es acropétala.

En cuanto al desarrollo del fruto en el híbrido, existe un buen número de partenocárpicos que incrementan en tamaño hasta el final de la madurez. Al mismo tiempo se aumenta el porcentaje por racimo (% frutos fértiles + % frutos partenocárpicos), el cual se estabiliza a partir del estadio 807, donde se presenta un 65 % del total de frutos por racimo que aportan aceite. En estas condiciones el potencial de aceite del material híbrido O_xG fluctuó entre $21,6 \pm 3,1$. Con relación a los parámetros como la acidez y el DOBI en el aceite extraído de los frutos, los valores reportados estuvieron dentro de los rangos característicos, con valores por debajo del 1 % expresado como ácido oleico y el DOBI con valores por encima de 2,4, respecti-

vamente. Es importante resaltar que estos resultados corresponden a la primera etapa de procesamiento de los racimos, la esterilización, por lo cual es necesario hacer evaluaciones posteriores que definan el impacto sobre estos parámetros por el efecto de su procesamiento.

Se definió como momento de cosecha oportuno al estadio fenológico 807, cuando se encontró que el incremento de peso de frutos se estabilizó y se alcanzó el desarrollo de los lípidos por completo. En este estadio se presenta un peso promedio de 10 g en el fruto fértil y de 2 g en fruto partenocárpico, con una relación aceite mesocarpio fresco constante de alrededor del 44 %. No hay desprendimiento de frutos que indique a la máxima acumulación de aceite en el racimo. Dado el caso en que se realice la cosecha de los racimos en el estadio fenológico 806, se incurriría en una pérdida potencial de aceite, debido a que los frutos normales no han alcanzado su máximo peso y estos no tendrán síntesis adicional de ácidos grasos posterior al corte. Por el contrario, si se presenta la cosecha del racimo en el estadio 809, las pérdidas de aceite se determinarán según el número de frutos desprendidos en el racimo.

Bibliografía

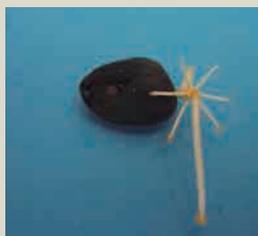
- Alvarado, M., Foroughbakhch, R., Jurado, E. & Rocha, A. (2002). Ciencia UANL. *Ciencia UANL, Universidad Autónoma de Nuevo León, V*, 493-500.
- Azcues, M. (2000). La fenología como la herramienta de climatología. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Ceniap).
- Cayón, D. (1996). Aspectos fisiológicos y bioquímicos de la maduración de los frutos de palma de aceite (*Elaeis guineensis*). *Primer curso internacional sobre el cultivo de palma de aceite*, 294-306.
- Henderson, A. (2002). *Evolution and Ecology of Palms. The New York Bot. Gard.* Nueva York, EE.UU.
- Jaana, V., Hannna, T. & Oksanen, J. (2004). Palm distribution patterns in Amazonian rainforests: What is the role of topographic variation? *Journal of vegetation science*, 15, 485-494.
- Legros, S., Mialet-Serra, I., Caliman, J.-P., Siregar, F. a, Clement-Vidal, a, Fabre, D., & Dingkuhn, M. (2009). Phenology, growth and physiological adjustments of oil palm (*Elaeis guineensis*) to sink limitation induced by fruit pruning. *Annals of botany*, 104(6), 1183-94. doi:10.1093/aob/mcp216.
- Meier, U., Bleiholder, H., Feller, C., Hack, H., Lancashire, P., Schnock, U., Staub, R., et al. (2009). The BBCH system to coding the phenological growth stages of

- plants-history and publications-. *JOURNAL FÜR KULTURPFLANZEN*, 61 (August 2008), 41-52.
- Montenegro, G., & Ginocchio, R. (1999). La fenomorfología y su expresión a través del crecimiento modular en las plantas leñosas perennes. In R. Orellana, J. Escamilla, & A. Lárque-Saavedra (Eds.), *Ecofisiología vegetal y conservación recursos genéticos*. Mérida, México: CICY.
- Riaza, M. (2012). Las observaciones fenológicas como evidencia del cambio climático.
- Schwartz, M. D. (2003). *Phenology: an integrative environmental science* (pp. 3-7). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Tesfaye, K., Walker, S., & Tsubo, M. (2006). Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid en. *European Journal of Agronomy*, 25, 60-70.
- Valor, O. & Bautista, D. (2001). Estudio fenológico de cuatro variedades de vid bajo las condiciones de El Tocuyo, estado Lara. *Bioagro*, 13(2), 57-63.



CAPÍTULO 7

Escala BBCH extendida para la descripción de los estadios fenológicos de *Elaeis guineensis* y el híbrido interespecífico (OxG)

Estadio fenológico		
Código	Estadio principal 0: Germinación y emergencia	
000	<p>Semilla seca</p> <p>En híbrido OxG semillas ovoides a angulares de color marrón oscuro y el endocarpio está cubierto por una serie de fibras reticuladas que rodean los poros germinales apicales. El cuesco es delgado con un grosor entre 0,5-2,5 mm.</p>	
001	<p>Imbibición completa</p> <p>El embrión aparece hinchado y su extremo distal se hace visible en uno de los tres poros de germinación, hay desprendimiento del opérculo para dar paso al estadio denominado como "punto blanco", en el cual se diferenciarán la radícula y la plúmula.</p>	
004	<p>Diferenciación de plúmula y radícula</p> <p>Se observan 10-14 días después de la germinación (Turner & Gillbanks, 2003). Los dos órganos emergen a través de un cilindro formado por una lígula (hoja modificada que sirve de protección). El color de la plúmula es verde claro y la radícula posee un color crema.</p>	
005	<p>Aparición de raíces adventicias</p> <p>Las primeras raíces adventicias son producidas en anillo superior de la unión de la radícula con el hipocótilo (Corley & Thinker, 2003).</p>	
009	<p>Las dos hojas plumulares sobresalen de la lígula hasta que la radícula tiene 1 cm de longitud y en este momento la plúmula emerge de la proyección plumular (lígula). Sobresale del suelo la segunda hoja plumular.</p>	

Estadio fenológico		
Código	Estadio de crecimiento principal 1: Desarrollo de la hoja en vivero y en campo	
Desarrollo de hojas en previvero		
101	Primera hoja lanceolada	
102	Segunda hoja lanceolada después de un mes de aparición de la primera.	
109	Cinco o más hojas lanceoladas , que corresponden al 90 % del desarrollo en este estadio.	
120	Primera hoja bifurcada	
129	Cinco hojas bifurcadas	

Estadio fenológico		
Código	Estadio de crecimiento principal 1: Desarrollo de la hoja en vivero y en campo	
Desarrollo de hojas en vivero		
130	Aparición de hendiduras que dividen parcialmente las láminas entre las venas para formar los folíolos. La hoja 12 parcialmente pinnada.	
140	Hoja 18 con inicio de división de la lámina foliar. Inicio de hojas pinnadas	
143	Hoja 18 completamente pinnada y hoja flecha con 30 % de apertura.	
145	Hoja 18 completamente pinnada y hoja flecha con 50 % de apertura.	
149	Hoja 18 completamente pinnada y hoja flecha con 70 % de apertura.	

Estadio fenológico		
Código	Estadio de crecimiento principal 1: Desarrollo de la hoja en vivero y en campo	
Desarrollo de hojas en campo		
150	0 % de apertura de hoja flecha, raquis totalmente elongado y los folíolos de color verde claro apretados en el centro de la corona.	
153	30 % de apertura de la hoja flecha.	
155	50 % de apertura de la hoja flecha.	
159	70 % de apertura de la hoja flecha.	

Estadio fenológico		
Código	Estadio de crecimiento principal 3: Elongación del estípite	
301	Se hace visible el estípite, dando apariencia de cono invertido.	
305	Estípite sólido con bases peciolares adheridas a lo largo de él que inician su desprendimiento a partir de los 12 a 16 años empezando por la zona media de la estructura.	
309	Estípite sin bases peciolares. Se observan las cicatrices de estas estructuras y entre ellas, externamente, los entrenudos del estípite.	

Estadio fenológico		
Código	Estadio principal de crecimiento 5: Emergencia de las inflorescencias femeninas y masculinas aplicable para <i>E. guineensis</i> e híbrido interespecífico O x G	
500	Inflorescencia no visible. La estructura se encuentra aplanaada en la parte posterior de la axila muy adherida a la base peciolar de la hoja que la sostiene.	
501	Inflorescencia visible en la axila de la hoja. Emergencia del 10 % del tamaño final de la estructura floral, de forma elíptica y cubierta por la bráctea floral y el prófalo fusionados.	

Estadio fenológico		
Código	Estadio principal de crecimiento 5: Emergencia de las inflorescencias femeninas y masculinas aplicable para <i>E. guineensis</i> e híbrido interespecífico O×G	
503	Emergencia del 30 % del tamaño final de la estructura floral. Alargamiento de la estructura.	
505	Emergencia del 50 % del tamaño total de la estructura cerrada y cambia una posición foliar debido a la apertura de una nueva hoja. Comienza el engrosamiento de la estructura floral. El prófalo se rasga y se desintegra, mientras que la bráctea peduncular aún cubre la estructura.	
509	Emergencia del 90 % del tamaño total de la estructura floral. El prófalo se ha desintegrado casi en su totalidad y se observa un rasgamiento leve en la parte central de la bráctea peduncular.	

Estadio fenológico		
Código	Estadio principal de crecimiento 6: Floración	
Híbrido interespecífico O×G		
601	Preantesis I. Inflorescencia femenina Rasgamiento de la bráctea peduncular hacia la mitad de la estructura y raquillas marrón oscuro apretadas hacia el centro. No se observan los tépalos.	
602	Preantesis II. Inflorescencia femenina Rasgamiento de la bráctea peduncular en un 30 % del total de la superficie y raquillas más abiertas color marrón oscuro. Se ven los tépalos marrón oscuro de los botones florales. Cambio de dos posiciones foliares desde la emergencia de la estructura.	

Estadio fenológico	
Código	Estadio principal de crecimiento 6: Floración
Híbrido interespecífico O×G	
603	<p>Preantesis III. Inflorescencia femenina Rasgamiento de la bráctea peduncular entre el 50 al 70 % del total de la superficie, prófalo desintegrado, raquillas separadas color marrón claro, tépalos cesan su crecimiento, de color amarillo quemado.</p> 
607	<p>Antesis. Inflorescencia femenina Bráctea peduncular fibrosa, leñosa, desintegrada y firmemente adherida a la superficie floral. Apertura de los tépalos exponiendo los lóbulos del estigma color beige.</p> 
609	<p>Fin de la floración Inicia la polinización de las flores, cambio progresivo de coloración de los lóbulos del estigma de color amarillo muy oscuro, luego marrón y finalmente negro en un período de 24 horas. Presencia de exudado pospolinización en los estigmas.</p> 

Estadio fenológico	
<i>Elaeis guineensis</i>	
601	<p>Preantesis I. Inflorescencia femenina Raquillas apretadas hacia el centro y de color verde claro. No se observan los tépalos del botón floral. Han transcurrido 30 días aproximadamente desde la emergencia de la estructura.</p> 
602	<p>Preantesis II. Inflorescencia femenina. Rasgamiento de la bráctea peduncular en la altura media de la superficie de la inflorescencia. En la axila de cada bráctea floral se aprecia el ápice del botón floral que se encuentra cubierto por la bráctea del verticilo de color verde pálido o rojizo. Inicio de apertura de raquillas.</p> 

Estadio fenológico		
<i>Elaeis guineensis</i>		
603	<p>Preantesis III. Inflorescencia femenina</p> <p>Rasgamiento avanzado e inicio de desprendimiento de la bráctea peduncular, prófalo completamente desintegrado y ubicado en la base de la inflorescencia. Fácil observación de los botones florales con sus tépalos de color blanco. Las espiguillas y brácteas florales están más separadas. Hay cambio de una posición foliar.</p>	
607	<p>Antesis. Inflorescencia femenina</p> <p>Apertura de más del 70 % de los tépalos exponiendo los estigmas trilobulados de color crema cubiertos de una sustancia mucilaginosa y aromática para la recepción del polen.</p>	
609	<p>Fin de la floración</p> <p>Inicia la polinización de las flores y cambio progresivo de coloración de los lóbulos del estigma tornándose púrpuras.</p>	

Estadio fenológico		
Inflorescencias masculinas		
601	<p>Preantesis I</p> <p>Bráctea peduncular se rasga y se distinguen las espiguillas de color marrón, con forma digitiforme o cilíndrica apretadas hacia el centro.</p>	
602	<p>Preantesis II</p> <p>Las espiguillas cilíndricas de la inflorescencia masculina se encuentran parcialmente expuestas y libres, debido a que su bráctea peduncular está más rasgada.</p>	

Estadio fenológico		
Inflorescencias masculinas		
603	<p>Preantesis III</p> <p>Se elonga la inflorescencia, provocando la ruptura total de la bráctea peduncular, lo cual permite que las espiguillas estén más separadas entre sí. Ocurre una nueva apertura foliar.</p>	
607	<p>Antesis</p> <p>Apertura de más del 70 % de las flores, desde la base de cada espiguilla. Se observa el polen en las anteras y se da la liberación de una sustancia aromática similar al anís o al hinojo.</p>	
609	<p>Fin de la floración</p> <p>Las flores se tornan de color marrón debido a que sus anteras comienzan a secarse. No hay presencia de polen y las espiguillas empiezan a degradarse.</p>	

Estadio fenológico		
Código	Estadio principal de crecimiento 7: Desarrollo del fruto	
Híbrido		
700	<p>Flor femenina fecundada. Se caracteriza porque los lóbulos del estigma se endurecen y cambian a color negro, comenzando el hinchamiento del ovario. El fruto está cubierto por las brácteas del verticilo.</p>	

Estadio fenológico	
Código	Estadio principal de crecimiento 7: Desarrollo del fruto
Híbrido	
701	<p>10 % del tamaño final del fruto. Inicio de pigmentación del fruto de color verde claro brillante en el ápice y no se observa cuesco ni endospermo. Transcurridos 8 días después de antesis ha sucedido un crecimiento rápido en tamaño de los frutos (drupas). El fruto está cubierto por los tépalos.</p>
703	<p>30 % del tamaño final del fruto. Comienzo de pigmentación de fruto de color verde oscuro brillante en el ápice y verde medio en el centro. No se observa cuesco ni endospermo. Estadio presentado 15 días después de antesis. El fruto está cubierto por las brácteas del verticilo.</p>
705	<p>Tamaño del fruto propio de su especie. El fruto ha alcanzado el 50 % del tamaño propio de su especie entre los 37 a 45 días después de antesis. La coloración del fruto es amarillo o verde muy claro en la parte basal, verde claro en el centro y verde oscuro en la parte apical. Cuesco blando, endospermo líquido.</p>
709	<p>Se alcanza aproximadamente entre los 46 a 100 días después de antesis. Los frutos presentan un aspecto brillante y son de color verde opalescente en general. Se presenta formación de cuesco que comienza su endurecimiento. Color salmón medio y endospermo en estadio coloidal.</p>

Estadio fenológico	
Código	Estadio principal de crecimiento 7: Desarrollo del fruto
<i>Elaeis guineensis</i>	
700	<p>Flor femenina fecundada. Se caracteriza porque los lóbulos del estigma se endurecen y cambian a inicialmente vino tinto muy oscuro y luego a negro. Comienza el hinchamiento del ovario. El fruto está cubierto por las brácteas del verticilo.</p> 
701	<p>10 % del tamaño final del fruto. Inicio de pigmentación de fruto de color vino tinto o rojo muy oscuro brillante en el ápice, amarillo claro en el centro y crema pálido en la base. No se observa cuesco ni endospermo. Transcurridos 8 días después de antesis ha sucedido un crecimiento rápido en tamaño de los frutos (drupas). El fruto está cubierto por las brácteas del verticilo.</p> 
705	<p>50 % del tamaño final del fruto. Después de 59 a 61 días de la antesis los frutos presentan un aspecto brillante y son de color amarillo pálido en la base, negro en el centro y negro intenso en el ápice. Se diferencia el cuesco del endospermo, tomando un color naranja cremoso, e inicia su endurecimiento. El endospermo se encuentra en estado líquido.</p> 
709	<p>Tamaño del fruto propio de su especie entre los 79 a 83 días después de antesis. La coloración del fruto es rojo oscuro en la base, continúa siendo negro o vino tinto muy oscuro en el centro y negro intenso en el ápice. Finalmente, el cuesco se empieza a oscurecer tomando un color beige. El endospermo se encuentra coloidal.</p> 

Estadio fenológico		
Código	Estadio principal de crecimiento 8: Maduración del fruto y del racimo	
Híbrido		
800	<p>Pérdida de pigmentación verde, característica de la maduración. Entre los 101 a 105 días después de antesis el color del fruto en la base es verde amarillo muy claro, verde amarillo en el centro y verde claro en el ápice. Inicia el endurecimiento del cuesco, de color marrón medio y endospermo blanco y blando.</p>	
803	<p>Inicio de cambio drástico de color, estadio pinto. Entre 116 a 125 días después de la antesis la coloración externa de las drupas cambia viéndose en el conjunto del racimo un mosaico tricolor, debido a que se presentan frutos de diferentes estadios de desarrollo por la asincronía en la apertura floral. Este estadio es el inicio del cambio de coloración de verde a naranja.</p>	
805	<p>Homogeneización de la coloración externa del racimo. Entre los 126 a 139 días después de antesis la coloración general del racimo cambia a amarillo oscuro o naranja ligero en general. En el fruto la coloración en la base es amarillo o naranja pálido, en el medio es naranja medio y verde muy claro en el ápice. Cuesco duro, color marrón oscuro, con aumento en su espesor.</p>	
807	<p>Inicio de la maduración del fruto y del racimo. Entre los 140 a 152 días después de antesis, la coloración externa del racimo es naranja medio en general. En el fruto la coloración en la base es amarillo o naranja intenso, en el medio es naranja opaco y naranja oscuro en el ápice. Cuesco duro y de color marrón oscuro. No hay desprendimiento de fruto fácilmente del racimo y se observa la formación de aceite en el mesocarpio.</p>	
809	<p>Maduración del fruto y el racimo. Entre los 140 a 152 días después de antesis, la coloración externa del racimo es naranja intenso en general; en el fruto la coloración en la base es naranja medio, en el centro es naranja intenso y naranja oscuro en el ápice. Cuesco duro y de color marrón oscuro. Hay desprendimiento de fruto del racimo, presencia de estrías organizadas en forma circular alrededor de la zona apical del fruto y se observa la formación de aceite en el mesocarpio.</p>	

Estadio fenológico	
Código	Estadio principal de crecimiento 8: Maduración del fruto y del racimo
<i>E. guineensis</i>	
800	<p>Inicia el cambio de coloración de los frutos, característico de la maduración. A los 84 días después de la antesis la coloración de las drupas (frutos) cambia a amarillo ocre en la base, vino tinto muy oscuro en el centro y en el ápice negro. Cuesco inicia endurecimiento, color marrón medio y endospermo blanco y sólido.</p> 
805	<p>Maduración del fruto y del racimo. Entre los 112 días después de antesis la coloración externa de las drupas cambia a amarillo ocre en la base, vino tinto o negro en el medio y negro en el ápice. Cuesco duro y de color marrón oscuro.</p> 
807	<p>Sobre maduración del fruto y del racimo. Los frutos se tornan de color naranja intenso. El mesocarpio pierde firmeza y ocurre el desprendimiento de la mayoría de los frutos del racimo. En el transcurso de una a dos semanas después es considerado apto para la cosecha.</p> 

Estadio fenológico	
Código	Estadio principal de crecimiento 9: Senescencia
909	<p>Senescencia de la hoja. En una densidad de 140 a 150 palmas por hectárea, sin podas, la senescencia de las hojas comienza en la hoja 48-50, pero en densidades de siembra más altas la senescencia comienza en la hoja 35 (Corley <i>et al.</i>, 1982). Las hojas viejas cambian su color de verde a amarillo y, finalmente, se tornan marrón claro.</p> 

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos al Fondo de Fomento Palmero, administrado por Fedepalma; al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias) (Contrato 426-2007) por la financiación para la realización de esta investigación. Igualmente, a las plantaciones Guaicaramo S. A., en la Zona Oriental; Hacienda Ariguaní, en la Zona Norte; al Campo Experimental El Palmar de La Vizcaína y Palmosán, en la Zona Central y, especialmente, a los ingenieros Libardo Santacruz y Gustavo Rosero, así como al Grupo Daabon por su apoyo y logística para el seguimiento de la fenología de los materiales de palma africana y el híbrido interespecífico OxG.

De igual manera, a la investigadora Ley Ley Chan por facilitarnos las fotografías de las semillas del material híbrido; a Mónica Monroy por las fotografías de las inflorescencias masculinas, y a los estudiantes Steffani Lozano, Alexis Ríos, Leidy Paola Moreno, Ángela Sánchez y Jonathan Camperos, por su colaboración en el seguimiento y la documentación de las etapas de floración y fructificación descritas en este libro. Por último, a la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia por facilitar parte de este proceso investigativo en el marco del Convenio de Cooperación Interinstitucional entre la Facultad y Cenipalma.

Glosario

Almidón: polímero de la glucosa que abunda en las estructuras reservantes de las plantas, raíces, tallos o semillas, formando gránulos con formas características, ovoides, hemisféricas, etc. En ocasiones ocupa la mayor parte del interior de la célula. Polisacárido de origen vegetal, que constituye la principal reserva hidrocarbonada de las plantas superiores.

Ápice: extremo superior o punta de la planta.

Axila: ángulo formado por el tallo y la hoja en su inserción. En las plantas con flor se desarrollan yemas en las axilas de las hojas.

Bífido: dividido en dos partes de tamaños semejantes.

Bráctea: hoja transformada, asociada con una inflorescencia.

Endocarpo: capa interna del pericarpo o cubierta externa del fruto. Procede de la pared del ovario.

Endosperma: es la capa más íntima de la semilla, en contacto directo con el embrión, al que tiene la misión de nutrir. Procede, por sucesivas mitosis, del núcleo triploide formado por la unión de uno de los núcleos espermáticos del polen y los dos núcleos polares del saco embrionario.

Espata: término generalmente utilizado para el prófilo y las brácteas pedunculares de gran tamaño.

Estigma: parte del carpelo diferenciado, situada en su extremo libre y destinado a recibir el polen.

Lígula: apéndice membranoso de ciertas hojas en la juntura del limbo, el pecíolo y de ciertos pétalos en su base.

Ligulado-adyacente: en la germinación el nuevo tallo se desarrolla cerca de la semilla y queda envuelto en una lígula.

Mesocarpio: parte intermedia del pericarpio en los frutos carnosos como el melocotón, comprendida entre el epicarpio y el endocarpio.

Mesocarpio: en el fruto, capa intermedia del pericarpio, a veces carnosa, formada de parénquima.

Pecíolo: pedúnculo que sostiene las hojas de los vegetales y los une al tallo.

Pedúnculo: parte de la flor que, como continuación del receptáculo floral, la une al tallo.

Pericarpio: parte del fruto que envuelve a las semillas. Está constituido por tres capas: epicarpo (externa), mesocarpio (media) y endocarpio (interna).

Pinnado/da: hojas u otros órganos vegetales que tienen la nerviación constituida por un nervio principal del que salen otros secundarios a ambos lados del mismo, como las barbas de la pluma. También se llama pinnatinervia.

Pistilo: carpelo u órgano floral femenino de las plantas, diferenciado en ovario, estilo y estigma, y que por lo general ocupa el centro de la flor.

Plúmula: denominación alternativa atribuida al ápice vegetativo embrionario.

Prófilo: la primera bráctea de la inflorescencia.

Radícula: raíz embrionaria.

Raquis: la continuación del pecíolo, el eje de la hoja pinnada que sostiene los folíolos, o la continuación del pedúnculo, el eje de la inflorescencia.

Saco embrionario: megagametofito o gametofito femenino en plantas con semilla. Está formado por un máximo de ocho células (núcleos) haploides, uno de las cuales es la ovocélula o gameto femenino. Está rodeado de varias capas de células diploides (nucela y tegumentos), formando en conjunto el primordio seminal.

Saco polínico: cavidades de la antera de los estambres, en cuyo interior se desarrolla el polen.

Sépalo: cada una de las hojas, generalmente de color verde, que forman el cáliz de una flor.

Tépalo: voz analógica de las palabras *pétalo* y *sépalo*. Cada una de las piezas del periantio de una flor, cuando en ella no existe una diferenciación entre cáliz (sépalos) y corola (pétalos).

Testa: es la cubierta externa de la semilla (episperma) cuando se vuelve dura y resistente. Procede de los tegumentos del primordio seminal.

Vaina: sinónimo de “cubierta”. En histología vegetal hace referencia a las células que rodean los haces vasculares de las hojas.

Centro de Investigación en Palma de Aceite
Calle 20A N° 43A-50 piso 4.
PBX: 208 6300 Fax: 244 4711
www.cenipalma.org
Bogotá D.C.-Colombia