

“ASD OIL PALM PAPERS”

IS A BIENNIAL PUBLICATION OF ASD COSTA RICA

(Agricultural Services and Development)

Number 48

2017

EDITOR: Carlos Ml. Chinchilla

EDITORIAL BOARD: Amancio Alvarado, Francisco Peralta, Ricardo Escobar

MAILING ADDRESS

ASD Oil Palm Papers

ASD Costa Rica

P.O. Box 30-1000, San José, Costa Rica

Ph.(506) 2284 1120, (Fax 506) 2257 2667

E-mail: sales@asd-cr.com

Web site: <http://www.asd-cr.com>

CONTENIDO (CONTENT)

Pág. 2. Floración en *Elaeis oleifera* y el híbrido inter-específico Amazon

Henry Jeremy

Pág.14 Flowering in *Elaeis oleifera* and the Amazon hybrid

Henry Jeremy

Pág.25 Polinización por *Elaeidobius kamerunicus* en el híbrido inter-específico Amazon (*E. oleifera* x *E. guineensis*) en la costa Atlántica de Nicaragua

Henry Jeremy, Alvarado Amancio, Sanchez María Yesenia, Lezama Humberto

Pág.36 Pollination by *Elaeidobius kamerunicus* in the Amazon interspecific hybrid (*E. oleifera* x *E. guineensis*) on the Atlantic coast of Nicaragua

Henry Jeremy, Alvarado Amancio, Sanchez María Yesenia, Lezama Humberto

Floración en *Elaeis oleifera* y el híbrido inter-específico Amazon

Henry Jeremy¹.

RESUMEN

Se comparó el proceso de antesis en inflorescencias femeninas y masculinas de cuatro poblaciones de *Elaeis oleifera* y de dos orígenes del híbrido inter-específico OxG Amazon (*E. oleifera* x *E. guineensis*) sembrados en el banco de germoplasma de ASD Costa Rica. Se detallaron las características morfológicas y del comportamiento del proceso de floración en cada material, se anotaron las similitudes y diferencias y se discutieron algunas implicaciones para el programa de mejoramiento genético.

Introducción

El proceso de floración de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) ha sido bien documentado (Thomas y Chan 1970, Corley y Tinker 2003, Adam et al. 2005, Legros et al. 2009a, Legros et al. 2009b) y se conoce bastante bien la anatomía de las inflorescencias y su comportamiento durante la antesis (Tandon et al. 2001). No obstante, el comportamiento de la floración en la especie *E. oleifera* y en los híbridos inter-específicos OxG (*E. oleifera* x *E. guineensis*) es diferente y no existe mucha información al respecto (Escobar 1982, Rao y Chang 1982).

El periodo de receptividad de las inflorescencias femeninas de diferentes poblaciones de *E.*

oleifera pueden diferir grandemente (4-29 días), pero durante un periodo de floración de 4-5 días, cerca del 90 % de las flores individuales pueden estar receptivas al tercer día (Rao y Chang 1982). Un periodo mayor de antesis se asocia con una maduración más desuniforme de los racimos y crea problemas cuando se hace polinización controlada, pues se obtienen menos frutos fértiles (Ooi y Tam 1975, Tam 1981, Rao y Ahmad 1983). Este trabajo tuvo como objetivo caracterizar el proceso de floración en palmas de cuatro poblaciones de la especie *E. oleifera* y del híbrido inter-específico OxG Amazon presentes en el banco de germoplasma de ASD Costa Rica.

¹ ASD Costa Rica, j.hbejarano@asd-cr.com

Materiales y métodos

Área de estudio

El banco de germoplasma de ASD está localizado en el valle que forman los ríos Coto y Colorado a 32 msnm, en el Pacífico sur de Costa Rica. La precipitación anual promedio es de 4118 mm, que varía mucho asociado a los fenómenos del Niño y de la Niña. Existe un periodo de menores precipitaciones entre los meses de enero y marzo. Las temperaturas media mínima y máxima son de 21 y 32 °C, respectivamente.

Las poblaciones

Las poblaciones de *Elaeis oleifera* provienen de la región de Centroamérica y Colombia (CA/Col, dos grupos), Manaos (Brasil), Surinam y Taisha (Ecuador). La edad de las palmas de una de las poblaciones de CA/Col, Manaos y Taisha era similar (5-6 años). El otro grupo de CA/Col era de 17 años y la población de Surinam tenía 30 años de sembrada. En cada población se seleccionaron cuatro palmas con inflorescencias en estado de pre-antesis para continuar con observaciones diarias del proceso. Los resultados se compararon con los de inflorescencias de *E. guineensis* de una población Deli *dura* de cinco años de edad.

Del híbrido OxG Amazon se tomaron tres inflorescencias en palmas de cinco años de edad de dos orígenes (BC_1 y BC_2). Los progenitores femeninos del híbrido Amazon provenían de la población *E. oleifera* Manaos evaluada en este estudio, mientras que los progenitores masculinos procedían de la segunda generación filial del primer ciclo de retrocruzamiento (BC_1F_2 , un grupo) y de la primera generación filial del

segundo ciclo de retrocruzamiento de una población de origen compuesto (BC_2F_1 , dos grupos). Como referencia se evaluaron las inflorescencias femeninas de la variedad *E. guineensis* Deli x Ghana de la misma edad.

Observaciones

La metodología para las observaciones y toma de la información fue la misma para las inflorescencias masculinas y femeninas. En cada inflorescencia, cada día, durante el periodo de antesis, se determinó la cobertura por fibras y la intensidad del aroma liberado. Adicionalmente se seleccionaron tres espigas al azar en las secciones basal, media y distal para documentar la secuencia de la apertura de las florecillas individuales dentro de cada espiga (basípeta o acrópeta), el número de florecillas abiertas, su longitud, ancho y color, así como el tiempo de receptividad de las flores.

Al finalizar el periodo de antesis se determinó la longitud y el ancho de la inflorescencia, del pedúnculo y de las espigas, además de la longitud de las brácteas de las espigas (bráctea espinosa), de la espina en la punta de la espiga, la distancia entre espigas, el número total de espigas por inflorescencia y el total de florecillas por inflorescencia. El ángulo de inserción de la espiga en la inflorescencia fue medido con un semicírculo graduado en grados. La duración del proceso de antesis se definió como el tiempo transcurrido desde la apertura de la primera y última de las florecillas.

Resultados

E. oleifera: inflorescencias femeninas

Las inflorescencias del origen Surinam eran las de menor tamaño y las Taisha, las más grandes. Las poblaciones CA/Col y Manaos tenían una mayor cantidad de florecillas en la inflorescencia. La cobertura de las fibras fue mayor en Manaos y menor en las poblaciones de Surinam y Taisha. Este último origen se caracterizaba por tener una espina terminal prominente y el pedúnculo más alargado (Fig. 1).

Los dos grupos de la población de CA/Col, de diferente edad, compartían similitudes morfológicas y de floración. Las espigas en CA/Col estaban orientadas en un ángulo más cerrado (verticalmente), las flores eran las más pequeñas y el aroma de las inflorescencias era de intensidad moderada y de carácter 'azucarado'. En Surinam y en Taisha las espigas se disponían casi horizontalmente, siendo las flores más grandes que en las otras poblaciones y en este último, el aroma se alejaba aún más del olor a anís característico de las inflorescencias de *E. guineensis* (Fig. 1).



Centroamérica/
Colombia (CA/Col)



Manaos (Brasil)



Surinam



Taisha (Ecuador)

Fig. 1. Inflorescencias femeninas en antesis en cuatro poblaciones de *E. oleifera*. Banco de germoplasma de ASD Costa Rica

La floración fue más uniforme en Manaos y Taisha, en donde se iniciaba en las espigas de la base de la inflorescencia y continuaba hacia arriba. En Surinam se podía iniciar en cualquier espiga. La floración en la población CA/Col fue tan uniforme como en Manaos y Taisha, empezando de abajo hacia arriba, pero al llegar a la punta de la inflorescencia, la mayor parte de las flores permanecieron cerradas (Fig.1, Cuadro 1).

Entre el segundo y el tercer día de antesis, la mayoría de las flores de Manaos al igual que en los dos grupos de CA/Col estaban receptivas, mientras que en Taisha el periodo receptivo se extendió por más tiempo y algunas de las flores de la punta permanecían abiertas después de siete días. En la población Surinam el comportamiento fue errático y cerca de la mitad de las flores no se abrieran del todo (Cuadro 2).

Cuadro 1. Comparación de algunas características de las inflorescencias femeninas en cuatro poblaciones de *E. oleifera* (Centroamérica/Colombia (CA/Col), Manaos (Brasil), Surinam y Taisha (Ecuador)) y de una población *E. guineensis* (Deli dura)

Edad (años)	17	6	6	30	5	6
	<i>E. oleifera</i>					<i>E. guineensis</i>
Característica	CA/Col ¹	CA/Col ²	Manaos	Surinam	Taisha	Deli dura
Cobertura de fibras	++	++	+++	+	+	+
Tamaño de la inflorescencia	+++	++	++	+	++	+++
Tamaño de las flores	+	+	++	++	+++	+++
Cantidad de flores	+++	+++	++	+	+	++
Dirección de la apertura floral	↑	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
Uniformidad de la floración	++	++	+++	+	+++	+++
Aroma de la inflorescencia	+	+++	+	++	+	+++
Tamaño del pedúnculo	+	++	+	+	+++	++
Orientación de las espigas	vertical	vertical	vertical	horizontal	horizontal	vertical
Color de las flores	amarilla	amarilla	blanca	amarilla	amarilla	blanca

¹ = Centroamérica/Colombia; siembra 1992; ² = siembra 2003
 +++: mayor, ++: medio, +: menor
 ↑ = acrópeto; ↓ = basipeto

Cuadro 2. Características de las inflorescencias femeninas en antesis de cuatro poblaciones de *E. oleifera* (Centroamérica/Colombia (CA/Col), Manaos (Brasil), Surinam y Taisha (Ecuador)) y de una población *E. guineensis* (Deli dura)

Edad (años)	17	6	6	30	5	6	
Característica	<i>E. oleifera</i>					<i>E. guineensis</i>	
	CA/Col ¹	CA/Col ²	Manaos	Surinam	Taisha	Deli dura	
Duración de la antesis (días)	6	5 a 6	6	5 a 6	6 a 7	5	
Periodo receptivo de la flor (horas)	< 48	< 48	< 48	< 48	< 48	< 48	
Periodo de máxima floración (horas)	< 48	< 48	< 48	< 48	< 48	< 48	
Longitud de la flor (mm)	4.8	5.6	7	7.6	9.9	9	
Ancho de la flor (mm)	4.2	5	6.3	6.9	9.5	8.3	
Máximo de apertura floral (porcentaje)	75	85	95	50	90	95	
Número máximo de flores abiertas en la espiga	basal	25	13	15	12	25	9
	medial	26	19	9	8	38	13
	distal	5	6	3	2	8	9

¹ = Centroamérica/Colombia; siembra 1992 y ² = siembra 2003

Cuadro 3. Características morfológicas de las inflorescencias femeninas de cuatro poblaciones de *E. oleifera* (Centroamérica/Colombia (CA/Col), Manaos (Brasil), Surinam y Taisha (Ecuador)) y de una población de *E. guineensis* (Deli dura)

Edad (años)		17	6	6	30	5	6
		<i>E. oleifera</i>				<i>E. guineensis</i>	
Característica		CA/Col ¹	CA/Col ²	Manaos	Surinam	Taisha	Deli dura
Longitud de la inflorescencia (cm)		34.9	32.0	29.0	23.2	29.9	36.5
Ancho de la inflorescencia (cm)		28.0	23.5	25.0	21.0	27.0	30.5
Longitud del pedúnculo (cm)		11.1	18.0	12.0	10.8	28.1	15.5
Ancho del pedúnculo (cm)		12.4	14.6	10.1	8.0	8.1	9.0
Número espigas en la inflorescencia		146.0	172.0	177.5	68.5	96.5	160.0
Número de flores en la inflorescencia		4,653.0	3,854.5	3,121.0	1,306.5	1,474.0	2,830.5
Longitud de la espiga (cm)	basal	11.4	8.7	10.3	9.2	13.1	12.1
	medial	14.1	11.5	11.1	8.2	11.3	15.1
	distal	9.0	7.7	8.0	5.9	7.1	12.0
Ancho de la espiga (cm)	basal	2.0	2.0	2.4	2.6	2.8	2.6
	medial	1.7	1.8	1.8	1.9	2.2	1.7
	distal	0.9	1.2	1.2	1.5	1.5	1.2
Longitud de la bráctea espinosa de la espiga	basal	*	*	*	*	*	2.6
	medial	*	*	*	*	*	3.2
	distal	*	*	*	*	*	4.3
Longitud de la espina de la espiga (cm)	basal	1.4	1.3	2.3	1.9	2.9	4.6
	medial	1.6	1.4	2.1	1.6	2.9	5.2
	distal	1.5	1.2	2.4	1.6	3.2	5.2
Ángulo de inserción de la espiga (grados)	basal	50.0	62.5	46.8	35.0	32.5	40.0
	medial	50.0	55.0	55.0	40.0	45.0	44.3
	distal	60.0	67.5	70.0	47.5	45.0	72.5
Distancia entre espigas (cm)	basal	1.2	0.7	0.3	0.7	1.1	0.6
	medial	0.9	0.5	0.3	0.6	0.9	0.7
	distal	0.6	0.6	0.3	0.6	0.5	0.5

¹ = Centroamérica/Colombia; siembra 1992 y ² = siembra 2003

* ausente

E. oleifera: inflorescencias masculinas

En el periodo de evaluaciones no se encontraron inflorescencias masculinas en la población de Manaos. Al igual que para las flores femeninas, Taisha tenía inflorescencias masculinas con un pedúnculo más largo que las demás poblaciones. Las espigas eran alargadas y anchas, por lo cual podían acomodar muchas florecillas. Las inflorescencias masculinas de CA/Col y Taisha tenían otra característica en común con su

contraparte femenina: en CA/Col las espigas estaban orientadas en un ángulo casi vertical, mientras que las espigas de Taisha se disponían de forma más horizontal (Fig. 2, Cuadro 5).

En Surinam y en los dos grupos de CA/Col, la floración se extendió hasta por ocho días y se inició en dirección de la base hacia el ápice, pero luego se tornó errática en Surinam, mientras que era más uniforme en CA/Col y Taisha. En las tres poblaciones, el punto máximo de floración

ocurrió al cuarto día, cuando se abrieron cerca del 50% de las flores. Se determinó que las inflorescencias masculinas del grupo de CA/Col

de 17 años y de la población Taisha tenían la mayor cantidad de florecillas (Cuadros 4 y 5).



Centroamérica/
Colombia (CA/Col)



Surinam



Taisha (Ecuador)

Fig. 2. Inflorescencias masculinas en antesis de tres poblaciones de *E. oleifera* del banco de germoplasma de ASD Costa Rica

Cuadro 4. Características de las inflorescencias masculinas en antesis de tres poblaciones de *E. oleifera* (Centroamérica/Colombia (CA/Col), Surinam y Taisha (Ecuador)) y de una población de *E. guineensis* (Deli dura)

Edad (años)		17	6	30	5	6
		<i>E. oleifera</i>				<i>E. guineensis</i>
Característica		CA/Col ¹	CA/Col ²	Surinam	Taisha	Deli dura
Duración de la antesis (días)		8	8	8	8	6 a 8
Periodo receptivo de la flor (horas)		< 48	< 48	< 48	< 48	< 48
Periodo de máxima floración (horas)		< 48	< 48	< 48	< 48	< 48
Longitud de la flor (mm)		2.4	3.2	4.2	3.0	4.6
Ancho de la flor (mm)		2.2	2.7	3.3	2.7	3.9
Máximo de apertura floral (porcentaje)		65	75	40	65	85
Porcentaje máximo de flores abiertas en la espiga	basal	50	100	50	50	75
	medial	100	92	38	63	83
	distal	50	50	38	100	83
¹ = Centroamérica/Colombia; siembra 1992 y ² = siembra 2003						

Cuadro 5. Características morfológicas de las inflorescencias masculinas de tres poblaciones de *E. oleifera* (Centroamérica/Colombia (CA/Col), Surinam y Taisha (Ecuador)) y de una población de *E. guineensis* (Deli dura)

Edad (años)		17	6	30	5	6
		<i>E. oleifera</i>			<i>E. guineensis</i>	
Característica		CA/Col ¹	CA/Col ²	Surinam	Taisha	Deli dura
Longitud de la inflorescencia (cm)		36.6	32.1	23.2	32.2	41.7
Ancho de la inflorescencia (cm)		21.3	28.5	27.0	18.0	35.5
Longitud del pedúnculo (cm)		13.2	19.9	17.3	48.4	16.3
Ancho del pedúnculo (cm)		7.9	8.4	3.8	6.0	7.8
Número espigas/inflorescencia		129.0	152.0	53.0	110.5	167.5
Número flores/inflorescencia		26,871	123,783	48,577	74,525	140,109
Longitud de la espiga (cm)	basal	14.0	15.4	11.9	16.2	18.4
	medial	13.7	18.4	12.0	13.9	20.5
	distal	10.8	14.4	11.3	10.6	15.9
Ancho de la espiga (cm)	basal	1.3	1.0	1.0	1.6	1.4
	medial	1.0	0.8	0.9	0.7	1.0
	distal	0.6	0.5	0.7	0.6	0.8
Longitud de la espiga (cm)	basal	0.5	0.3	0.6	0.7	1.0
	medial	0.6	0.4	0.7	0.8	1.0
	distal	0.4	0.4	0.8	1.1	0.9
Angulo de inserción de la espiga (grados)	basal	57.5	62.5	14.3	22.5	44.3
	medial	68.5	66.3	40.0	27.5	47.5
	distal	70.0	69.3	69.3	25.0	67.5
Distancia entre espigas (cm)	basal	0.8	0.5	0.5	1.0	0.7
	medial	0.8	0.5	0.4	0.8	0.7
	distal	0.5	0.4	0.3	0.6	0.4
1 = Centroamérica/Colombia; siembra 1992 y 2 = siembra 2003						

Híbrido Amazon

Al igual que en la población materna *E. oleifera* de Manaus, en el híbrido Amazon no se encontraron inflorescencias masculinas durante el periodo de estudio, por esta razón la discusión se refiere al comportamiento de las

inflorescencias femeninas. La floración fue similar a la observada en la variedad Deli x Ghana, particularmente en lo que respecta a la receptividad de las flores, la uniformidad de la floración, la intensidad del aroma a anís y la reducida cobertura de fibras (Fig. 3, Cuadros 6 y 7).



Fig. 3. Inflorescencias femeninas en antesis de dos orígenes del híbrido Amazon (BC_1 y BC_2)¹ y en la variedad *E. guineensis* Deli x Ghana.

¹ BC_1 = primer ciclo de retrocruzamiento con mayor proporción de genes *E. oleifera*, nótese la mayor cobertura de fibras envoltantes que en el BC_2 = segundo ciclo de retrocruzamiento hacia *guineensis* con menor proporción de genes *E. oleifera*.

La duración de la antesis del origen BC_2 fue menor que en el BC_1 , pero el periodo receptivo de las flores individuales fue similar en ambas poblaciones. El patrón de floración en las palmas del BC_1 era irregular, ya que las flores en una misma espiga podían abrirse en cualquier dirección, mientras que en el BC_2 era más ordenado y empezaba de la base hacia la punta de la espiga. Una diferencia notoria entre las inflorescencias del BC_1 y el BC_2 es que el primero tenía flores de mayor tamaño y también más flores en la inflorescencia (Cuadros 6- 8).

En la variedad Deli x Ghana y en el Amazon BC_2 la floración fue uniforme, se inició con la apertura de las flores en la base de la inflorescencia y de cada espiga individual y progresó hacia la parte distal. Las espigas de Amazon eran de mayor longitud y más anchas que en Deli x Ghana, pero las dimensiones del pedúnculo eran menores en Amazon, especialmente en el BC_2 (Cuadros 6 y 8).

Cuadro 6. Características morfológicas de las inflorescencias femeninas del híbrido inter-específico OxG Amazon (dos orígenes) y de la variedad *E. guineensis* Deli x Ghana. Palmas de cinco años de edad

Característica	Deli x Ghana	Amazon BC ₁	Amazon BC ₂	
			Grupo 1	Grupo 2
Cobertura de fibras	++	++	+	+
Tamaño de la inflorescencia	+	+++	+++	+++
Tamaño de las flores	+++	+++	++	+
Cantidad de flores	+	+++	++	++
Tamaño del pedúnculo	+++	++	+	+
Dirección de la apertura floral	↑	↑↓	↑	↑
Uniformidad de la floración	+++	+++	+++	++++
Aroma de la inflorescencia	+++	++	++	++
Color de las flores	blanca	amarilla	amarilla	amarilla
+++ = mayor, ++ = medio y + = menor				
↑ = acrópeto, ↓ = basípeto				

Cuadro 7. Características de la antesis en las inflorescencias femeninas de dos orígenes del híbrido inter-específico OxG Amazon y de la variedad *E. guineensis* Deli x Ghana. Palmas de cinco años de edad

Característica		Deli x Ghana	Amazon BC ₁	Amazon BC ₂	
				Grupo 1	Grupo 2
Duración de la antesis (días)		4 a 6	5 a 6	3 a 4	3 a 5
Periodo receptivo de la flor (horas)		< 48	< 48	< 48	< 48
Periodo de máxima floración (horas)		< 24	< 24	< 24	< 24
Longitud de la flor (mm)		10.8	10.8	10.0	9.5
Ancho de la flor (mm)		9.0	8.9	9.1	8.6
Máximo de apertura floral (porcentaje)		> 90	> 90	> 90	> 90
Número máximo de flores abiertas en la espiga	basal	12	36	24	30
	medial	23	37	38	41
	distal	11	21	16	19

Cuadro 8. Características morfológicas de las inflorescencias femeninas de dos orígenes del híbrido inter-específico OxG Amazon y de la variedad *E. guineensis* Deli x Ghana. Palmas de cinco años de edad

Característica		Deli x Ghana	Amazon BC ₁	Amazon BC ₂	
				Grupo 1	Grupo 2
Longitud de la inflorescencia (cm)		20.5	42.0	42.5	43.3
Ancho de la inflorescencia (cm)		14.8	32.8	26.5	29.8
Longitud del pedúnculo (cm)		21.6	17.5	20.0	18.8
Ancho del pedúnculo (cm)		13.5	12.2	9.7	10.8
Número espigas/inflorescencia		107.0	195.5	193.0	210.5
Número flores/inflorescencia		1,524.5	7,892.5	5,431.0	5,369.0
Peso de la inflorescencia (kg)		2.5	5.8	6.8	8.3
Longitud de la espiga (cm)	basal	7.8	13.4	13.0	13.4
	medial	9.8	17.4	17.5	17.7
	distal	8.4	14.0	12.9	12.7
Ancho de la espiga (cm)	basal	2.1	4.5	2.5	2.9
	medial	1.6	1.8	1.5	1.8
	distal	1.3	1.2	1.2	1.3
Longitud de la espina de la espiga (cm)	basal	2.8	4.0	3.2	4.5
	medial	3.4	3.7	4.9	4.7
	distal	3.5	4.0	3.8	4.2
Ángulo de inserción de la espiga (grados)	basal	42.5	43.0	47.5	57.0
	medial	51.5	64.0	64.0	65.0
	distal	83.3	84.5	84.0	87.5

Discusión y conclusión

El comportamiento de la floración fue similar entre las inflorescencias femeninas y masculinas de las cuatro poblaciones de *E. oleifera* estudiadas. La apertura floral se inició comúnmente en las espigas de la base y progresó hacia la parte distal. El periodo de antesis en ambos casos tomó al menos cinco días, el periodo de receptividad de las flores individuales tenía una duración similar y el mayor porcentaje de florecillas abrió al tercer día de antesis.

A diferencia de lo que se ha observado en otras poblaciones de *E. oleifera* (Ooi y Tam 1975; Tam 1981; Rao y Chang 1982; Rao y Ahmad 1983), la floración tan uniforme que presentaron las inflorescencias femeninas de los materiales

estudiados podría asociarse con una polinización más eficiente (se obtienen más frutos fértiles) y con una maduración más uniforme de los racimos. No obstante, algunas de las características morfológicas de las inflorescencias femeninas y masculinas eran diferentes entre las poblaciones de *E. oleifera*. En Taisha ambas inflorescencias sobresalían por tener el pedúnculo más largo y las flores más grandes. En Surinam las inflorescencias eran pequeñas, mientras que la población Centroamérica/ Colombia tenía las flores más pequeñas y en el caso de Manaos la floración era la más uniforme.

El potencial de producción de semillas por inflorescencia parece estar determinado no tanto por el tamaño de la inflorescencia, sino por el largo de las espigas individuales y el tamaño de las florecillas. Considerando que estas características son importantes para la producción de semillas, los orígenes de Centroamérica/Colombia y Manaos tienen el mayor potencial de producir frutos.

La población de Manaos también tiene otras características que han sido transmitidas al híbrido Amazon, tales como el patrón de apertura floral (acrópeto), la uniformidad de la floración (90% o más de las flores individuales alcanzan la receptividad al tercer día) y la alta proporción de florecillas respecto al tamaño de la inflorescencia. El tipo de cobertura floral (fibras) en Manaos no fue transmitida al híbrido Amazon. Todas estas características han

contribuido a que Amazon pueda producir racimos con frutos fértiles, aún sin polinización asistida.

Algunas de las características de las inflorescencias femeninas y masculinas de la población *E. guineensis* Deli dura que fueron documentadas en este estudio, coinciden con las descritas anteriormente por Corley y Tinker (2003), en términos de duración de la antesis y de la cantidad estimada de flores presentes en la inflorescencia masculina (> 100,000 florecillas/ inflorescencia). Sin embargo, en el presente estudio el patrón de apertura floral durante el periodo de antesis en ambas especies y en el híbrido Amazon fue en ocasiones errático, siguiendo una secuencia basípeta o acrópeta, independientemente de la posición de la espiga en la inflorescencia.

Literatura citada

Adam H., Jouannic S., Escoute J., Duval Y., Verdeil J., Tregear J. 2005. Reproductive Developmental Complexity in the African Oil Palm (*Elaeis guineensis*). American Journal of Botany. 92 (11): 1836-1852

Corley R., Tinker P. 2003. World Agriculture Series: The Oil Palm. Blackwell Science. Oxford. England. 562 pp

Escobar R. 1982. Preliminary results of the collection and evaluation of the American oil palm *Elaeis oleifera* in Costa Rica. The Oil Palm in Agriculture in the Eighties. Vol. 1, pp. 79-93. Incorp. Soc. Planters, Kuala Lumpur.

Legros S., Mialet-Serra, Caliman J., Siregar F., Clement-Vidal A., Fabre D., Dingkuhn M. 2009a. 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, Caliman J., Siregar F., Clement-Vidal A., Dingkuhn M. 2009b. Phenology and growth adjustments of oil palm (*Elaeis guineensis*) to photoperiod and climate variability. Annals of Botany. 104: 1171-1182

Ooi S., Tam T. 1975. The determination of the within bunch components of oil yield in the oil palm (*Elaeis guineensis*) I. Pattern of variation. MARDI Research Bulletin. 3(1): 44-52

Rao V., Chang K. 1982. Anthesis and fruit set in *Elaeis oleifera* (HBK) Cortes. PORIM Bulletin. 4: 27-34

Rao V., Noh A.hmad. 1983. Pattern of variation of fruit set and fruit components in *Elaeis oleifera* (HBK) Cortes bunches. PORIM Bulletin. 7: 1-8

Tam T. 1981. Investigations into fruit-set capacities of the *Elaeis oleifera* under controlled pollination conditions and germination requirements of the interspecific *E. oleiferax E. guineensis* (pisifera) hybrid. Planter. 57: 444-451

Tandon R., Manohara T., Nijalingappa M., Shivanna R. 2001. Pollination and pollen-pistil interaction in oil palm, *Elaeis guineensis*. Annals of Botany. 87: 831-838.

Thomas R., Chan W. 1970. Phyllotaxis in the oil palm: Applications in Selection of Interspecific Hybrids. Annals of Botany. 34: 1025-1035

Flowering in *Elaeis oleifera* and the Amazon hybrid

Henry Jeremy¹

ABSTRACT

A comparative study of the anthesis process was made in male and female inflorescences from four populations of the *Elaeis oleifera* species and the Amazon hybrid (*E. oleifera* x *E. guineensis*) belonging to the ASD Costa Rica germplasm bank. The morphological traits and behavior of the anthesis process in each material were detailed, similarities and differences were noted, and some implications for the plant breeding program were discussed.

Introduction

The flowering process of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) has been widely documented (Thomas & Chan 1970; Corley & Tinker 2003; Adam et al. 2005; Legros et al. 2009a; Legros et al. 2009b) and the anatomy of the inflorescences and their behavior during anthesis is well known (Tandon et al. 2001). Nevertheless, flowering behavior in the American oil palm *E. oleifera* and in the interspecific OxG hybrids (*E. oleifera* x *E. guineensis*) are different and to date, much information is still lacking (Escobar 1982; Rao & Chang 1982).

The receptivity period of female inflorescences from different populations of *E. oleifera* can

differ widely (4-29 days), but during a 4-5-day flowering period, nearly 90% of the individual flowers can be receptive by the third day (Rao & Chang 1982). A longer period of anthesis is associated with less uniform bunch ripening and this creates problems when controlled pollination is done, since fewer fertile fruits are obtained (Ooi & Tam 1975; Tam 1981; Rao & Ahmad 1983). The objective of this work was to characterize the flowering process in palms of four populations of the *E. oleifera* species and the Amazon OxG hybrid present in the ASD Costa Rica germplasm bank.

¹ ASD Costa Rica, j.hbejarano@asd-cr.com

Materials and methods

Study area. The ASD germplasm bank is located in the valley formed by the Coto and Colorado rivers at 32 masl, in the southern Pacific region of Costa Rica. The average annual rainfall of the region is approximately 4118 mm, which varies due to the El Niño and La Niña phenomena. There is a period of less precipitation from January to March. Minimum and maximum average temperatures are 21° and 32° C, respectively.

***Elaeis oleifera*.** The study was done on four populations from the Central America-Colombia region (CA/Col, two groups), Manaus (Brazil), Suriname and Taisha (Ecuador). The age of the *E. oleifera* palms from one of the populations of CA/Col, Manaus and Taisha were similar (5-6 years), whilst the other group from CA/Col was 17 years old and the Suriname population had 30 years from planting. Four palms were selected from each one to evaluate female and male inflorescences in the pre-anthesis stage; two days later during anthesis, daily observations were made until anthesis finished. The results were compared with the inflorescences of *E. guineensis* from a Deli *dura* population (5 years).

The Amazon OxG hybrid. The study was done on two generations of five-year-old Amazon hybrids (BC₁ and BC₂), taking two female inflorescences from each one. The female progenitors of the Amazon hybrid came from the *E. oleifera* Manaus population evaluated in this study, whereas the male progenitors came from the second filial generation of the first backcrossing

cycle (BC₁F₂, one group) and the first filial generation of the second backcrossing cycle of a population of compound origin (BC₂F₁, two groups). The female inflorescences of an *E. guineensis* Deli x Ghana variety of the same age were evaluated as a reference.

Observations of the inflorescences. The methodology for the observations and the gathering of information was similar for the male and female inflorescences. Every day during the anthesis period, the coverage by fibers and the intensity of the aroma released were determined for each inflorescence. In addition, three spikelets were selected at random from the basal, medial and distal sections for making observations on the opening sequence of individual florets on the spikelets (basipetally or acropetally), the number of florets open, their length, width and color, as well as the time of flower receptivity.

At the end of the anthesis period, the length and width of the inflorescence and the peduncle, the length and width of the spikelets, the length of the spikelets bracts (spiny bract), the length of the spine at the tip of the spikelets, the angle of insertion of the spikelets, the distance between spikelets, the total number of spikelets per inflorescence and the total florets per inflorescence were determined. The duration of the anthesis process was defined as the time passed from the opening of the first to the last floret.

Results

E. oleifera: Female inflorescences

The inflorescences of Suriname were the smallest and the largest were those of Taisha, but the populations of CA/Col and Manaus had a greater quantity of flowers in the inflorescence. The fiber coverage was higher in Manaus and lower in the populations of Suriname and Taisha. The latter was characterized by having a prominent terminal spine and a longer peduncle.

The two groups of the CA/Col population (of different age) shared some morphological and flowering similarities. The spikelets in CA/Col were oriented vertically, the flowers were the smallest and the aroma of the inflorescences was of moderate intensity and 'sugary' character. In the Suriname and Taisha populations the spikelets were arranged horizontally and the flowers were larger than in the other populations; in the latter the aroma was distinct from the anise-like odor characteristic of the inflorescences of *E. guineensis* (Fig. 1. Tables 1, 2).



Fig. 1. Female inflorescences in anthesis from four populations of *E. oleifera* in the ASD Costa Rica germplasm bank. From left to right: Central America/Colombia, Manaus (Brazil), Suriname and Taisha (Ecuador)

Flowering pattern was more uniform in Manaus and Taisha, this began in the spikelets of the base of the inflorescence and continued upwards, whereas in Suriname it could initiate at any spikelet. The flowering process in the CA/Col population was as uniform as in Manaus and Taisha, starting from bottom to top, but upon reaching the tip of the inflorescence, most of the flowers remained closed (Fig.1. Table 1).

Between the second and third day of anthesis, most of the flowers of Manaus and the two groups of CA/Col were receptive, whilst in the Taisha population the receptive period was longer and some of the flowers of the tip were open even after seven days. The population of Suriname stood out, whose erratic behavior caused that about half of the flowers did not open at all (Table 2).

Table 1. Morphological traits of the female inflorescences of four populations of *E. oleifera* (Central America/Colombia, Manaus, Suriname and Taisha) and a population of *E. guineensis* (Deli dura)

Age (years)		17	6	6	30	5	6
Trait		<i>E. oleifera</i>				<i>E. guineensis</i>	
		CA/Col ¹	CA/Col ²	Manaus	Suriname	Taisha	Deli dura
Inflorescence length (cm)		34.9	32.0	29.0	23.2	29.9	36.5
Inflorescence width (cm)		28.0	23.5	25.0	21.0	27.0	30.5
Peduncle length (cm)		11.1	18.0	12.0	10.8	28.1	15.5
Peduncle width (cm)		12.4	14.6	10.1	8.0	8.1	9.0
Number of spikelets/inflorescence		146.0	172.0	177.5	68.5	96.5	160.0
Number of flowers/inflorescence		4653.0	3854.5	3121.0	1306.5	1474.0	2830.5
Spikelet length (cm)	basal	11.4	8.7	10.3	9.2	13.1	12.1
	medial	14.1	11.5	11.1	8.2	11.3	15.1
	distal	9.0	7.7	8.0	5.9	7.1	12.0
Spikelet width (cm)	basal	2.0	2.0	2.4	2.6	2.8	2.6
	medial	1.7	1.8	1.8	1.9	2.2	1.7
	distal	0.9	1.2	1.2	1.5	1.5	1.2
Spikelet bract length (spiny bract)	basal	*	*	*	*	*	2.6
	medial	*	*	*	*	*	3.2
	distal	*	*	*	*	*	4.3
Spikelet spine length (cm)	basal	1.4	1.3	2.3	1.9	2.9	4.6
	medial	1.6	1.4	2.1	1.6	2.9	5.2
	distal	1.5	1.2	2.4	1.6	3.2	5.2
Angle of insertion of the spikelet (degrees)	basal	50.0	62.5	46.8	35.0	32.5	40.0
	medial	50.0	55.0	55.0	40.0	45.0	44.3
	distal	60.0	67.5	70.0	47.5	45.0	72.5
Distance between spikelets	basal	1.2	0.7	0.3	0.7	1.1	0.6
	medial	0.9	0.5	0.3	0.6	0.9	0.7
	distal	0.6	0.6	0.3	0.6	0.5	0.5

1 = Central America/Colombia; planting 1992 and 2 = planting 2003.
* absent

Table 2. Traits of female inflorescences in anthesis from four populations of *E. oleifera* (Central America/Colombia, Manaus, Suriname and Taisha) and a population of *E. guineensis* (Deli dura).

Age (years)	17	6	6	30	5	6	
	<i>E. oleifera</i>					<i>E. guineensis</i>	
Trait	CA/Col ¹	CA/Col ²	Manaus	Suriname	Taisha	Deli dura	
Duration of anthesis (days)	6	5 to 6	6	5 to 6	6 to 7	5	
Receptive period of the flower (hours)	< 48	< 48	< 48	< 48	< 48	< 48	
Maximum flowering period (hours)	< 48	< 48	< 48	< 48	< 48	< 48	
Intensity of inflorescence aroma	low	high	low	intermediate	low	high	
Flower length (mm)	4.8	5.6	7	7.6	9.9	9	
Flower width (mm)	4.2	5	6.3	6.9	9.5	8.3	
Maximum floral opening (%)	75	85	95	50	90	95	
Fiber coverage	Intermediate		high	low	low	low	
Maximum number of open flowers/spikelet	basal	25	13	15	12	25	9
	medial	26	19	9	8	38	13
	distal	5	6	3	2	8	9
1 = Central America/Colombia; planting 1992 and 2 = planting 2003							

E. oleifera: male inflorescences

During the evaluation period no male inflorescences were found in the Manaus population. As for the female flowers, Taisha had male inflorescences with a longer peduncle than the other populations. The spikelets were elongate and wide and they could accommodate many florets, which were white in color. In Suriname, the width of the inflorescence was larger than its length (Fig. 2). The male inflorescences of CA/Col and Taisha had another characteristic in common with their female counterpart; in the case of CA/Col the spikelets were oriented at an almost vertical angle, whereas the Taisha spikes were arranged more horizontally (Fig. 2. Table 4).

In the 6-year-old CA/Col population, the sequence of floral opening was acropetal, whereas it was erratic in the 17-year-old CA/Col group. In both groups, the anthesis period lasted eight days. In Taisha, floral opening was acropetal and each flower remained receptive for less than two days. The longest period of floral opening of the inflorescence was also less than 48 hours. In Surinam, the flowering process lasted up to eight days and it began acropetally but then became erratic. The maximum point of flowering occurred by the fourth day, when 40% of the flowers had already opened (Tables 3, 4).



Fig. 2. Male inflorescences in anthesis from three populations of *E. oleifera* of the ASD Costa Rica germplasm bank. From left to right: Central America/Colombia, Surinam and Taisha.

Table 3. Traits of the male inflorescences in anthesis of three populations of <i>E. oleifera</i> (Central America/Colombia, Suriname, Taisha) and one population of <i>E. guineensis</i> (Deli dura)						
Age (years)		17	6	30	5	6
Trait		<i>E. oleifera</i>			<i>E. guineensis</i>	
		CA/Col ¹	CA/Col ²	Suriname	Taisha	Deli dura
Duration of anthesis (days)		8	8	8	8	6 a 8
Receptive period of the flower (hours)		< 48	< 48	< 48	< 48	< 48
Maximum flowering period (hours)		< 48	< 48	< 48	< 48	< 48
Intensity of inflorescence aroma		high	high	intermediate	low	high
Flower length (mm)		2.4	3.2	4.2	3.0	4.6
Flower width (mm)		2.2	2.7	3.3	2.7	3.9
Maximum floral opening (%)		65	75	40	65	85
Maximum percentage of open flowers/spikelet	basal	50	100	50	50	75
	medial	100	92	38	63	83
	distal	50	50	38	100	83
1 = Central America/Colombia; planting 1992 and 2 = planting 2003						

Table 4. Morphological traits of the male inflorescences of three populations of *E. oleifera* (Central America/Colombia, Suriname and Taisha) and one population of *E. guineensis* (Deli dura)

Age (years)		17	6	30	5	6
		<i>E. oleifera</i>			<i>E. guineensis</i>	
Trait		CA/Col ¹	CA/Col ²	Suriname	Taisha	Deli dura
Inflorescence length (cm)		36.6	32.1	23.2	32.2	41.7
Inflorescence width (cm)		21.3	28.5	27.0	18.0	35.5
Peduncle length (cm)		13.2	19.9	17.3	48.4	16.3
Peduncle width (cm)		7.9	8.4	3.8	6.0	7.8
Number of spikelets/inflorescence		129.0	152.0	53.0	110.5	167.5
Number of flowers/inflorescence		26 871	123 783	48 577	74 525	140 109
Spikelet length (cm)	basal	14.0	15.4	11.9	16.2	18.4
	medial	13.7	18.4	12.0	13.9	20.5
	distal	10.8	14.4	11.3	10.6	15.9
Spikelet width (cm)	basal	1.3	1.0	1.0	1.6	1.4
	medial	1.0	0.8	0.9	0.7	1.0
	distal	0.6	0.5	0.7	0.6	0.8
Spikelet length (cm)	basal	0.5	0.3	0.6	0.7	1.0
	medial	0.6	0.4	0.7	0.8	1.0
	distal	0.4	0.4	0.8	1.1	0.9
Angle of insertion of the spikelets (degrees)	basal	57.5	62.5	14.3	22.5	44.3
	medial	68.5	66.3	40.0	27.5	47.5
	distal	70.0	69.3	69.3	25.0	67.5
Distance between spikelets	basal	0.8	0.5	0.5	1.0	0.7
	medial	0.8	0.5	0.4	0.8	0.7
	distal	0.5	0.4	0.3	0.6	0.4
1 = Central America/Colombia; planting 1992 and 2 = planting 2003						

Amazon Hybrid

During the development of the study, no male inflorescences were found on palms of the Amazon hybrid, for this reason the discussion refers to the behavior of the female

inflorescences. Flowering was similar to that observed in the Deli x Ghana variety, particularly with respect to the receptivity of the flowers, uniformity of flowering, anise-like aroma intensity and the reduced fiber cover (Fig. 3).



Fig. 3. Female inflorescences in anthesis in two Amazon hybrid origins and in the *guineensis* Deli x Ghana variety.

¹BC₁ = First backcrossing cycle with a higher proportion of *E. oleifera* genes, notice the greater coverage of fibers than in BC₂ = second backcrossing cycle with a lower proportion of *E. oleifera* genes.

The duration of anthesis in the BC₂ origin was less than in the BC₁, but the receptive period of the individual flowers was similar in both populations. It was observed that the pattern of flowering in the BC₁ palms was somewhat irregular, since the flowers on a particular spikelet could open acropetally or the reverse (Table 5). One notable difference between the inflorescences of BC₁ and BC₂ was that the former had larger flowers, which increased the

proportion between the number of flowers and the weight of the inflorescence.

In the Deli x Ghana variety and in Amazon BC₂, the flowering was uniform; it began with the opening of the flowers at the base of the inflorescence and on each individual spikelet and progressed toward the distal part. The Amazon spikelets were longer and wider than in Deli x Ghana, but the dimensions of the peduncle were smaller (Tables 5, 6).

Table 5. Traits of anthesis in the female inflorescences of two origins of Amazon OxG interspecific hybrid and the Deli x Ghana variety. Palms were five years old.

Trait	Deli x Ghana	Amazon BC ₁	Amazon BC ₂	
			Group 1	Group 2
Duration of anthesis (days)	4 a 6	5 a 6	3 a 4	3 a 5
Flower receptive period (hours)	< 48	< 48	< 48	< 48
Maximum flowering period (hours)	< 24	< 24	< 24	< 24

Inflorescence aroma intensity		high	medium to high	medium	medium
Flower length (mm)		10.8	10.8	10.0	9.5
Flower width (mm)		9.0	8.9	9.1	8.6
Maximum floral opening (%)		>90	>90	>90	>90
Fiber coverage (%)		intermediate	intermediate	low	low
Maximum number of flowers	basal	12	36	24	30
open/spikelet	medial	23	37	38	41
	distal	11	21	16	19

Table 6. Morphological traits of the female inflorescences of two origins of the Amazon OxG interspecific hybrid and the Deli x Ghana variety. Palms were five years old.

Trait		Deli x Ghana	Amazon BC ₁	Amazon BC ₂	
				Group 1	Group 2
Inflorescence length (cm)		20.5	42.0	42.5	43.3
Inflorescence width (cm)		14.8	32.8	26.5	29.8
Peduncle length (cm)		21.6	17.5	20.0	18.8
Peduncle width (cm)		13.5	12.2	9.7	10.8
Number of spikelets/inflorescence		107.0	195.5	193.0	210.5
Number of flowers/inflorescence		1524.5	7892.5	5431.0	5369.0
Inflorescence weight (kg)		2.5	5.8	6.8	8.3
Spikelet length (cm)	basal	7.8	13.4	13.0	13.4
	medial	9.8	17.4	17.5	17.7
	distal	8.4	14.0	12.9	12.7
Spikelet width (cm)	basal	2.1	4.5	2.5	2.9
	medial	1.6	1.8	1.5	1.8
	distal	1.3	1.2	1.2	1.3

Spikelet spine length (cm)	basal	2.8	4.0	3.2	4.5
	medial	3.4	3.7	4.9	4.7
	distal	3.5	4.0	3.8	4.2
Angle of insertion of the spikelets (degrees)	basal	42.5	43.0	47.5	57.0
	medial	51.5	64.0	64.0	65.0
	distal	83.3	84.5	84.0	87.5

Discussion and conclusions

Flowering behavior of female and male inflorescences was similar for the four populations of *E. oleifera* studied. Floral opening commonly began on the spikelets of the base and progressed toward the distal part. The anthesis period in both cases took at least five days, the receptivity period for individual flowers showed similar duration and the largest percentage of the florets opened on the third day of anthesis.

In contrast to what has been observed in other populations of *E. oleifera* (Ooi & Tam 1975; Tam 1981; Rao & Chang 1982; Rao & Ahmad 1983), the uniform flowering showed by female inflorescences of the materials studied could be associated with more efficient pollination (obtaining more fertile fruits) and more uniform ripening of the bunches.

Nevertheless, some of the morphological traits of the inflorescences of the two sexes were clearly different between populations of *E. oleifera*. Taisha stood out for its longer peduncle length and larger flowers. In Suriname the inflorescences were the smallest, the Central America/Colombia origin had the smallest flowers, and Manaus showed the maximum percentage of floral opening in the female inflorescence.

Seed production potential per inflorescence appeared to be determined not only by the size

of the inflorescence, but also by the length of the individual spikelets and the size of the florets. Considering that these traits are important for seed production, the Central America/Colombia and Manaus origins have higher fruit production potential.

The Manaus population also had other traits that have been transmitted to the Amazon hybrid, such as the floral opening pattern (acropetal), flowering uniformity (90% or more of individual florets achieved receptivity by the third day) and the high proportion of florets with respect to inflorescence size. However, the type of floral cover (fibers) in Manaus was not transmitted to the Amazon hybrid. All these traits have contributed to Amazon's ability to produce bunches with more fertile fruits, even without assisted pollination. Some of the traits of the female and male inflorescences of the *E. guineensis* Deli *dura* population that were documented in this study coincided with the ones described earlier by Corley & Tinker (2003), in terms of the duration of anthesis and the estimated number of flowers on the male inflorescence (> 100 000 florets/inflorescence). However, in this study the floral opening pattern during the anthesis period in both species and in the Amazon hybrid was erratic on occasion, following a basipetal or acropetal sequence, independent of the position of the spikelet on

the inflorescence throughout the flowering process.

Literature cited

Adam H., Jouannic S., Escoute J., Duval Y., Verdeil J., Tregear J. 2005. Reproductive Developmental Complexity in the African Oil Palm (*Elaeis guineensis*). American Journal of Botany. 92(11): 1836-1852

Corley R., Tinker P. 2003. World Agriculture Series: The Oil Palm. Blackwell Science. Oxford. England. 562 pp

Escobar R. 1982. Preliminary results of the collection and evaluation of the American oil palm *Elaeis oleifera* in Costa Rica. The Oil Palm in Agriculture in the Eighties. Vol. 1, pp. 79-93. Incorp. Soc. Planters, Kuala Lumpur.

Legros S., Mialet-Serra, Caliman J., Siregar F., Clement-Vidal A., Fabre D., Dingkuhn M. 2009a. 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, Caliman J., Siregar F., Clement-Vidal A., Dingkuhn M. 2009b. Phenology and growth adjustments of oil palm (*Elaeis guineensis*) to photoperiod and climate variability. Annals of Botany. 104: 1171-1182

Ooi S., Tam T. 1975. The determination of the within bunch components of oil yield in the oil palm (*Elaeis guineensis*) I. Pattern of variation. MARDI Research Bulletin. 3(1): 44-52

Rao V., Chang K. 1982. Anthesis and fruit set in *Elaeis oleifera* (HBK) Cortes. PORIM Bulletin. 4: 27-34

Rao V., Noh A.hmad. 1983. Pattern of variation of fruit set and fruit components in *Elaeis oleifera* (HBK) cortes bunches. PORIM Bulletin. 7: 1-8

Tam T. 1981. Investigations into fruit-set capacities of the *Elaeis oleifera* under controlled pollination conditions and germination requirements of the interspecific *E. oleifera* x *E. guineensis* (*pisifera*) hybrid. Planter. 57: 444-451

Tandon R., Manohara T., Nijalingappa M., Shivanna R. 2001. Pollination and pollen-pistil interaction in oil palm, *Elaeis guineensis*. Annals of Botany. 87: 831-838.

Thomas R., Chan W. 1970. Phyllotaxis in the oil palm: Applications in Selection of Interspecific Hybrids. Annals of Botany. 34: 1025-1035

Polinización por *Elaeidobius kamerunicus* en el híbrido interespecífico Amazon (*E. oleifera* x *E. guineensis*) en la costa Atlántica de Nicaragua

Henry Jeremy¹, Alvarado Amancio², Sanchez María Yesenia³, Lezama Humberto⁴

RESUMEN

Se estudió y documentó el patrón de visitas del polinizador *Elaeidobius kamerunicus* a inflorescencias de ambos sexos del híbrido Amazon y los cambios poblacionales de ese insecto con relación a las lluvias. Esta información se correlacionó con la composición del racimo, el contenido de aceite en el fruto y la producción acumulada de racimos de fruta. El estudio se realizó en la costa Atlántica de Nicaragua en una parcela de 35 hectáreas plantada en el año 2010 con el híbrido Amazon (*Elaeis oleifera* x *E. guineensis*). Las observaciones se iniciaron cuando las palmas tenían 30 meses de edad y continuaron durante dos años. La parcela está alejada aproximadamente un kilómetro de las siembras comerciales de *E. guineensis*.

El número de insectos por hectárea varió en función de la densidad de inflorescencias masculinas en antesis y el porcentaje de emergencia de adultos de esas flores. Estas variables fueron afectadas por el patrón de lluvias. Durante la estación lluviosa (precipitación mensual promedio: 266 mm), cuando la densidad de inflorescencias masculinas en antesis fue mayor, se estimó una población máxima del polinizador de 20 000 individuos/ha/mes.

La visita de *E. kamerunicus* a las inflorescencias femeninas en antesis fue mayor en la estación seca; con valores máximos de 120-200 individuos por inflorescencia. Una mayor cantidad de insectos en la inflorescencia femenina en antesis se asoció con un peso mayor del racimo maduro.

La producción acumulada de fruta -con polinización entomófila- durante los primeros 16 meses de estudio fue 2.6 t/ha mayor que la obtenida con polinización asistida en plantaciones comerciales de este mismo híbrido en Colombia.

Se concluye que las inflorescencias masculinas del híbrido Amazon ofrecen un sustrato favorable para la visita y la reproducción del polinizador *E. kamerunicus*, y que las femeninas efectivamente atraen al polinizador; con lo cual aumenta el porcentaje de frutos normales en el racimo, sin necesidad de realizar polinización asistida. No obstante, es deseable la presencia cercana o intercalada de cierta proporción de palmas de *E. guineensis* para suplementar la producción de polen y garantizar una buena formación del racimo. Debido a que una de las mayores fortalezas del híbrido Amazon es su alta tolerancia a las pudriciones del cogollo (PC), es deseable que las palmas *guineensis* acompañantes, también sean tolerantes a esta condición; línea de trabajo en la cual ASD Costa Rica también ha logrado avances importantes.

Palabras clave: palma aceitera, híbrido interespecífico OxG, *Elaeidobius kamerunicus*

¹ASD Costa Rica, j.hbejarano@asd-cr.com

²ASD Costa Rica, a.alvarado@asd-cr.com

³ASD Costa Rica, Nicaragua, mysanchez@cukra.com

⁴Museo de Insectos de la Universidad de Costa Rica, oncidere@gmail.com

Introducción

Una alta productividad en palma aceitera depende de una adecuada polinización entomófila. *Elaeis guineensis* Jacq. es una especie originaria del oeste de África en donde es polinizada principalmente por cuatro especies de insectos: *Elaeidobius kamerunicus*, *E. subvittatus*, *E. plagiatus* y *E. singularis*. De estas, *E. kamerunicus* es la especie más eficiente y predominante (Syed 1984); por lo cual fue introducida en Costa Rica en 1985 y actualmente es común en toda Centroamérica (Bulgarelli et al. 2002; Chinchilla et al. 1990).

E. kamerunicus utiliza las inflorescencias masculinas de *E. guineensis* para poder completar su ciclo de vida (alimentación, reproducción, ovoposición y desarrollo de larvas) (Syed, 1984; Kewan et al. 1986). Debido a su estrecha relación con *E. guineensis*, el insecto tiene limitaciones para establecerse en plantaciones de híbridos interespecíficos OxG (*E. oleifera* x *E. guineensis*) Syed (1984).

El híbrido Amazon (OxG compuesto: exclusivo de ASD Costa Rica), se caracteriza por su alta tolerancia a las pudriciones del cogollo (PC),

lento incremento en altura del tronco, hojas cortas y alta insaturación del aceite. Su alta precocidad le da una ventaja adicional sobre otros híbridos comerciales; la cual está asociada con un corto ciclo de flores andróginas y moderada producción de polen (cinco gramos por inflorescencia masculina), con una viabilidad mayor que 25%. (Alvarado y Henry 2015).

Debido a la escasa información disponible sobre el comportamiento de *E. kamerunicus* en los híbridos OxG (Chinchilla et al. 1990, Lacerda et al. 2013, Syed 1984), este estudio documenta las relaciones entre la abundancia de inflorescencias masculinas, la población de *E. kamerunicus* y la visitación del polinizador a las inflorescencias femeninas en antesis, con la distribución de las lluvias en una plantación joven del híbrido Amazon. Adicionalmente se documentó la composición del racimo y el contenido de aceite, de igual forma relacionado con la variación en las poblaciones de insectos y su comportamiento.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en un lote comercial de 35 ha del híbrido Amazon de 30 meses de edad (siembra en setiembre de 2010), localizado en la región Caribe de Nicaragua (Kukra Hill). Amazon fue sembrado a una densidad de 143 palmas/ha en un arreglo de anillos hexagonales convencional, donde la palma central era de la variedad Tanzania x Ekona (*E. guineensis*); la cual presenta tolerancia a las pudriciones del cogollo y se pretendía utilizar como fuente de polen. En cada hectárea había 119 palmas del híbrido y 24 palmas *guineensis*, en una proporción de 80:20 respectivamente.

En el periodo entre los años 2010 y 2014 la estación seca ocurrió entre enero y abril

(precipitación mensual promedio: 100 mm), y la estación lluviosa entre mayo y diciembre (precipitación mensual promedio: 266 mm). La temperatura media ha sido de 26.3 °C (máxima: 34.4 °C; mínima: 19.2 °C) y la radiación solar promedio de 23 MJ. En el año 2013 la precipitación acumulada fue de 3,900 mm y en el año 2014 disminuyó a 2,600 mm.

El lote de estudio es parte de un bloque comercial de 180 ha del híbrido Amazon alejado aproximadamente un kilómetro de plantaciones *guineensis*. Se espera que la influencia del polen proveniente de esas palmas '*guineensis*' haya

sido mínima, con la excepción de las palmas centrales en cada hexágono.

Se tomaron datos mensuales entre enero de 2013 y diciembre de 2014 del número de inflorescencias masculinas, la emergencia de *E. kamerunicus* de estas inflorescencias y del patrón de visitas de los insectos adultos a las inflorescencias femeninas. Entre julio y diciembre de 2014 (47 a 52 meses de edad de las palmas) se analizó la composición de los racimos: el peso promedio de los racimos, la proporción de frutos fértiles y su contenido de aceite. Se documentó la precipitación pluvial durante dos estaciones secas: enero a abril de 2013 (promedio mensual: 90 mm) y enero a abril de 2014 (promedio: 63 mm) y dos estaciones lluviosas: mayo a diciembre de 2013 (promedio: 447 mm) y mayo a diciembre de 2014 (promedio: 281 mm).

El número de inflorescencias masculinas del híbrido Amazon y la variedad Tanzania x Ekona se determinó en una hectárea seleccionada al azar dentro del lote en cada evaluación. Se tomaron en cuenta las inflorescencias próximas a iniciar la antesis, en antesis y en estado de post-antesis.

La emergencia de adultos de *E. kamerunicus* de las inflorescencias masculinas se determinó en

una muestra de tres inflorescencias de cada variedad colectadas dos días después de finalizar la fase de antesis. Para esto, las inflorescencias fueron previamente identificadas cuando las flores de la parte distal estaban todavía liberando polen. Cada inflorescencia fue colocada en un recipiente plástico cilíndrico de 20 litros que tenía como tapa una malla de nailon para contener a los insectos. Una vez que inició la emergencia de los insectos (3-4 días después de la recolección), se cuantificó diariamente durante 20 días el número de adultos de *E. kamerunicus* que emergieron.

Se seleccionaron cinco inflorescencias femeninas del híbrido, cuando los botones florales de las secciones basal y medial estaban a punto de abrir. Se eliminaron las fibras remanentes y luego se colocó sobre la inflorescencia (a lo largo de su eje principal), una banda plástica transparente de 30 cm de largo y 5 cm de ancho que en la superficie tenía el adhesivo incoloro e inodoro para el muestreo de insectos *Tangle-Trap*®. La banda fue colocada entre las 6 a.m. y 9 a.m. y se retiró 48 horas después para cuantificar el número de adultos de *E. kamerunicus* atrapados. Aproximadamente seis meses después, los racimos fueron analizados en sus componentes según la metodología de Blaak et al. (1963).

Resultados y discusión

Densidad de inflorescencias masculinas, emergencia de adultos de *E. kamerunicus*, población por hectárea y conformación del racimo

En el periodo entre enero y abril de 2013 (promedio de 3,400 insectos por inflorescencia en las dos variedades) y febrero a abril de 2014 (3,770 insectos), emergió el mayor número de insectos de *E. kamerunicus* por inflorescencia masculina, mientras que durante los meses de mayo a agosto de 2013 y julio a noviembre de 2014 se presentó una reducción (Fig. 1). Durante el año 2014, la emergencia de adultos de *E.*

kamerunicus fue similar entre el híbrido Amazon y la variedad *guineensis*.

Lo anterior indica que el periodo de mayor precipitación pluvial tuvo un efecto negativo sobre la emergencia de los insectos, el cual se extendió hasta el inicio de la estación seca. Resultados similares fueron obtenidos por Chinchilla et al (1990) en la variedad Deli x AVROS. Los autores indicaron que este comportamiento se debía en parte al aumento en las poblaciones de los enemigos naturales del insecto polinizador durante la estación lluviosa.

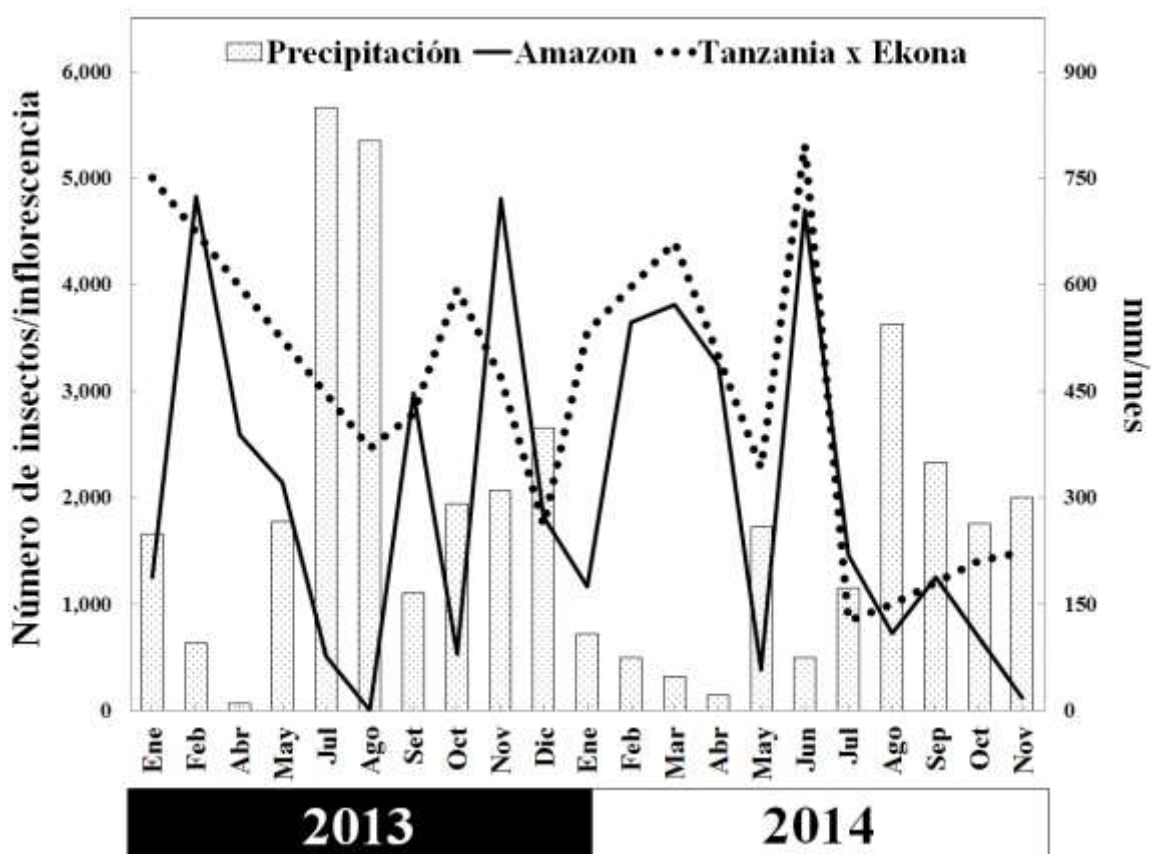


Fig. 1. Precipitación pluvial y variación estacional del número de adultos de *E. kamerunicus* que emergieron de inflorescencias masculinas del híbrido Amazon y la variedad *guineensis* Tanzania x Ekona. Kukra Hill, Nicaragua.

En el periodo entre octubre de 2013 y marzo de 2014, el híbrido Amazon produjo en promedio cinco inflorescencias masculinas por hectárea, mientras que entre los meses de abril y diciembre de 2014 aumentó a 21 (Fig. 2). Este cambio tan notable en la producción de inflorescencias masculinas fue similar al descrito por Bulgarelli et al (2002) en palmas adultas de la variedad *guineensis* Deli x AVROS. Estos autores determinaron que un factor de estrés que parece afectar la razón de sexo (favoreciendo la producción de inflorescencias masculinas) es el exceso de agua en el suelo dos años antes. De tal manera, las altas precipitaciones ocurridas 24 meses antes,

durante la estación lluviosa de 2012 (precipitación mensual promedio de abril a noviembre: 230 mm), probablemente favorecieron la diferenciación de inflorescencias masculinas en Amazon y Tanzania x Ekona.

Durante los meses de enero a agosto de 2014, el híbrido Amazon produjo más flores masculinas que Tanzania x Ekona (14 y dos flores/ha, respectivamente). Entre setiembre y diciembre de 2014, Amazon mostró una reducción en la producción de inflorescencias masculinas (9), mientras que ésta se incrementó en Tanzania x Ekona (11) (Fig. 2).

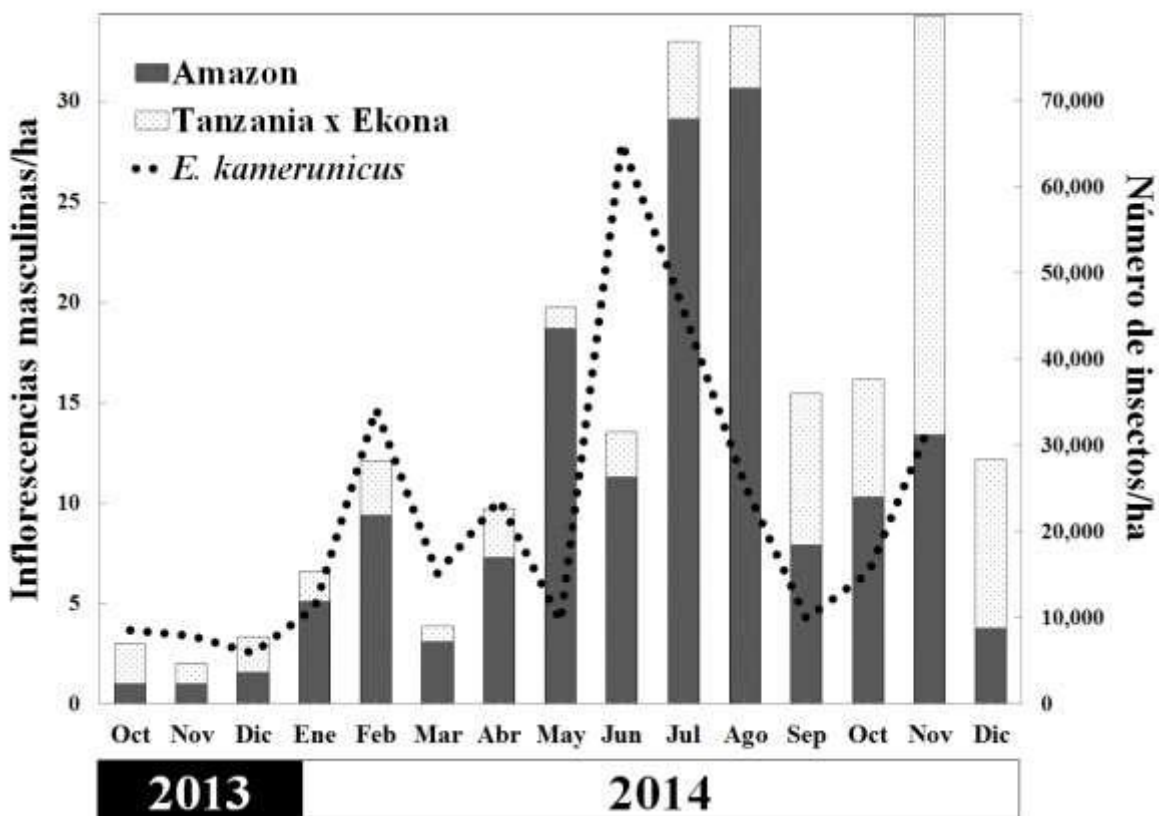


Fig. 2. Fluctuación mensual del número de inflorescencias masculinas por hectárea y del número de adultos de *E. kamerunicus* en una plantación comercial joven del híbrido Amazon (119 palmas/ha), dispuesta en diseño de siembra de anillo hexagonal (143 palma/ha) junto con la variedad *guineensis* Tanzania x Ekona, sembrada en el centro de cada hexágono (24 palmas/ha). Kukra Hill, Nicaragua.

La fluctuación en el número de insectos por unidad de área estuvo definida por las variaciones en el número de inflorescencias masculinas del híbrido y por el número de insectos que emergieron de esas inflorescencias. Estas variables a su vez estuvieron asociadas con el patrón de precipitación. Durante la estación de menos lluvias en el año 2014 (enero a abril), cuando el promedio mensual de lluvias fue 60 mm, la población del polinizador se estimó en 21,100 individuos/ha/mes. En este periodo ocurrió la mayor emergencia de insectos adultos de las inflorescencia masculinas (3,300). No obstante, el número de inflorescencias masculinas por hectárea fue de solo ocho; lo cual se considera bajo.

Entre mayo y noviembre de ese año, cuando la precipitación mensual promedio fue de 280 mm, el número de adultos de *E. kamerunicus* aumentó a 28,500/ha/mes, como resultado del incremento en el número de inflorescencias masculinas por ha (24), pero menor emergencia de adultos (1,665). El pico de población de adultos en junio de 2014, se asoció con una baja precipitación (75 mm) y el incremento en la cantidad de inflorescencias masculinas/ha (Figs. 1 y 2).

De acuerdo con Syed (1984), una población de 20,000 adultos de *E. kamerunicus*/ha/mes es suficiente para alcanzar una proporción de frutos fértiles en el racimo superior al 60% en plantaciones comerciales *guineensis*. En el caso del híbrido Amazon, se estimó que la población

de *E. kamerunicus* se mantuvo en 26,000 adultos/ha/mes; lo cual se asoció con un porcentaje de frutos fértiles en el racimo de 35%. Hasta la fecha, la experiencia con este híbrido permite concluir que ese porcentaje de frutos fértiles se asocia con la maduración normal de los racimos, al sumarse 25% de frutos partenocárpicos, lo cual da un total de 60% de frutos con aceite por racimo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Componentes del racimo y contenido de aceite del híbrido Amazon y de la variedad *guineensis* Tanzania x Ekona en una plantación comercial en Kukra Hill, Nicaragua y en una parcela experimental en Coto, Costa Rica. Periodo = 47 a 52 meses después de la siembra.

LOCALIDAD	VARIEDAD	NA	PR	FF/R	FP/R	F/R	PF	M/F	A/MF	A/MP	AR
Coto	Tanzania x Ekona	25	8.1	65.0	4.3	69.3	9.8	85.8	45.5	n.d.	27.1
	Amazon	25	9.6	46.9	10.1	57.0	10.3	77.4	48.2	28.3	20.6
Cukra	Amazon	25	9.5	35.0	25.3	60.3	13.5	79.3	44.0	31.7	20.4

n.d.: no determinado; **NA:** total de muestras analizadas; **PR:** peso promedio del racimo, kg; **FF/R:** frutos fértiles en el racimo, %; **FP/R:** frutos partenocárpicos en el racimo, %; **F/R:** frutos en el racimo, %; **PF:** peso promedio del fruto, g; **M/F:** mesocarpio en el fruto, %; **A/MF:** aceite en el mesocarpio en frutos fértiles, %; **A/MP:** aceite en el mesocarpio en frutos partenocárpicos, %; **A/R:** aceite en el racimo, %.

Emergencia de adultos de *E. kamerunicus* de las inflorescencias masculinas.

La duración del periodo de emergencia (días), el número de adultos emergidos por día y el número total de insectos por inflorescencia masculina, fueron diferentes entre las estaciones seca y lluviosa durante los dos años evaluados. Durante la estación de menos lluvias en 2013, la emergencia de adultos se extendió hasta por 18 días en Amazon y 16 días en Tanzania x Ekona. La emergencia se redujo a un periodo de 15 días en ambos materiales durante la estación de lluvias. En el año 2014 la emergencia de insectos en ambos materiales se extendió por 18 días en la estación seca y 21 días en la estación lluviosa (Fig. 3).

En las dos variedades la emergencia diaria de adultos de *E. kamerunicus* fue menor durante la estación lluviosa con respecto a la seca. En Amazon, en la estación seca del año 2013, la emergencia diaria fue de 225 y en la lluviosa de 160, mientras que en Tanzania x Ekona pasó de 472 a 265 individuos en las estaciones seca y

lluviosa, respectivamente. De manera similar, en el año 2014, la emergencia diaria en Amazon pasó de 185 en la estación seca a 84 en la lluviosa y en el caso de Tanzania x Ekona esta se redujo de 334 a 154 individuos.

La emergencia total (acumulado de 20 días) de insectos por inflorescencia masculina fue menor en Amazon que en Tanzania x Ekona. En 2013 la emergencia en Amazon fue de 2386 y en Tanzania x Ekona de 3179 adultos, mientras que en el año 2014 se presentó una disminución en la emergencia en ambos materiales (1995 en Amazon y 2535 en Tanzania x Ekona). Lo anterior se debe a que la emergencia por día durante el año 2014 se redujo prácticamente a la mitad con respecto al año anterior (Fig. 3). De manera similar, Lacerda et al (2013) documentaron que la emergencia de adultos de *E. kamerunicus* de las inflorescencias masculinas era menor en un híbrido OXG con respecto al material *guineensis*, siendo de 1400 insectos para el híbrido y de 7620 en el caso de la especie africana.

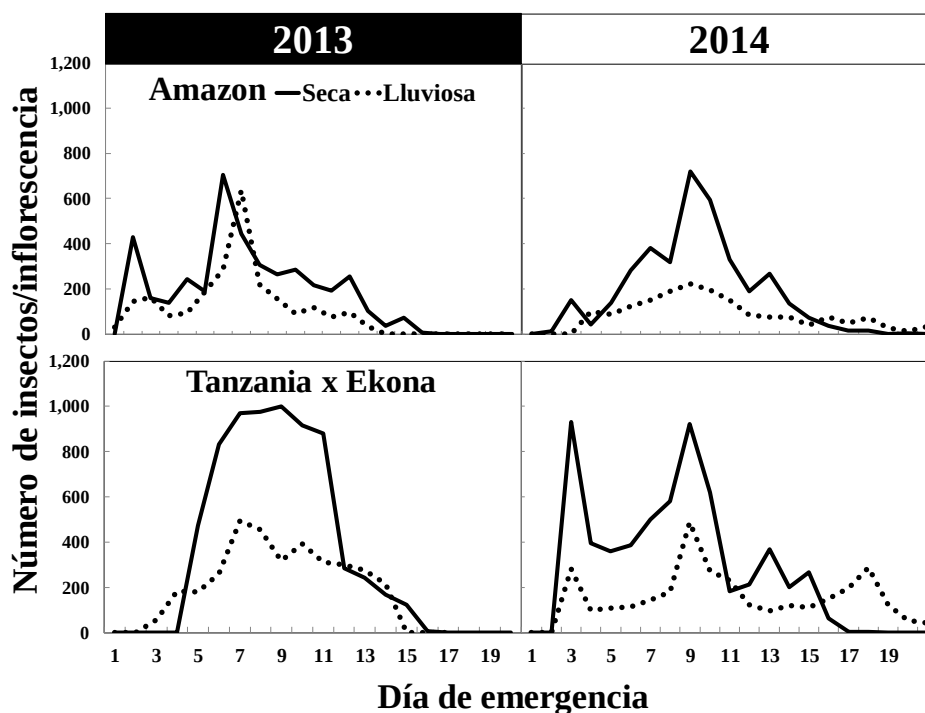


Fig. 3. Fluctuación diaria de la emergencia de *E. kamerunicus* de las inflorescencias masculinas del híbrido Amazon y de la variedad *guineensis* Tanzania x Ekona. Kukra Hill, Nicaragua. Las observaciones fueron realizadas en palmas de 30 meses durante un periodo de 20 días.

Visitación de los polinizadores a las inflorescencias femeninas

El número de adultos de *E. kamerunicus* que visitaron las inflorescencias femeninas del híbrido Amazon fue mayor en ausencia de lluvia y con lluvias leves. El mayor número de visitas se registró en el mes de marzo (periodo seco) y la menor visitación ocurrió durante varios meses con alta precipitación pluvial en ambos años de estudio (Fig. 4).

Dhileepan (1994), en una plantación de *E. guineensis*, encontró que el número de insectos polinizadores que visitaron las inflorescencias femeninas en antesis dependía principalmente del tamaño de la población de insectos y no del número de inflorescencias masculinas disponibles por unidad de área. Por consiguiente, cuando se redujo la población de insectos durante los periodos más lluviosos del año, también disminuyó el número de insectos que visitaron las inflorescencias femeninas en antesis.

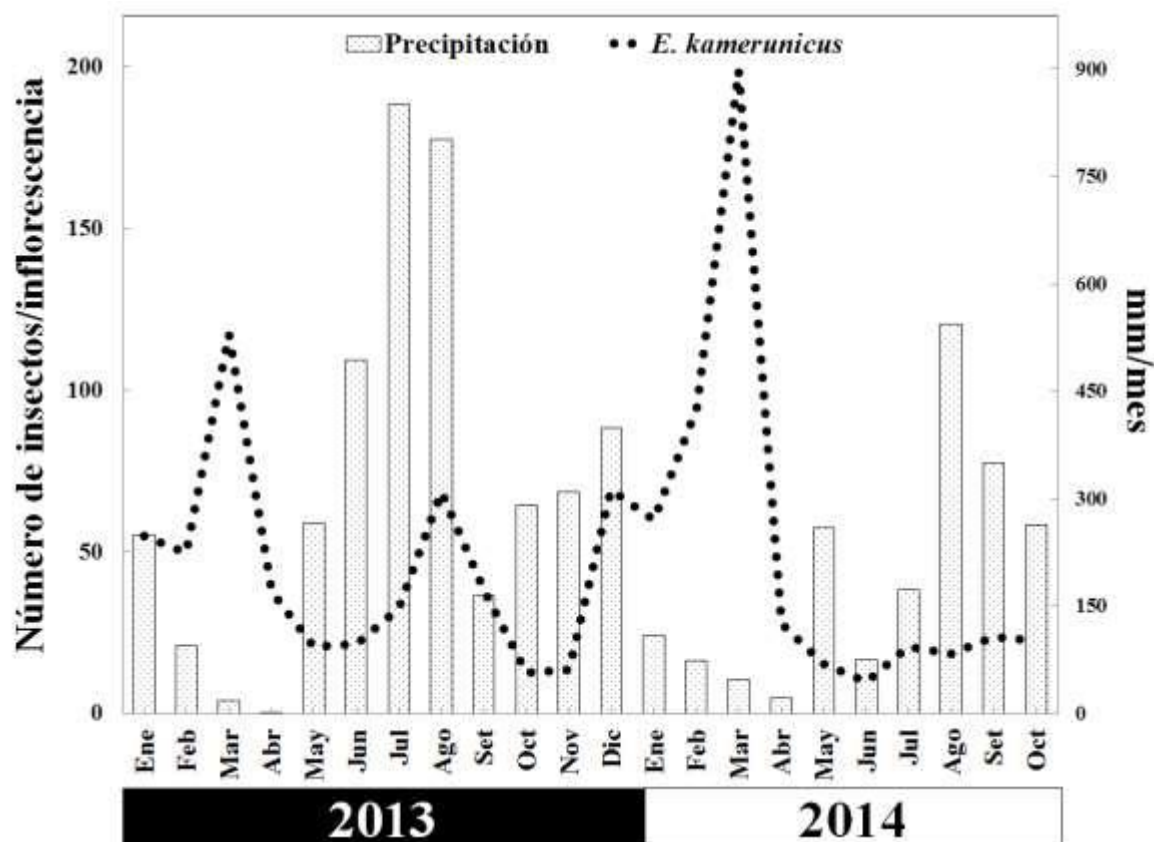


Fig. 4. Precipitación pluvial y visitación de *E. kamerunicus* a las inflorescencias femeninas en antesis del híbrido Amazon. Kukra Hill, Nicaragua.

Chinchilla et al. (1990) encontraron que 300 adultos de *E. kamerunicus* por inflorescencia femenina en antesis, se asociaba con un porcentaje de frutos polinizados en el racimo cercano a 70% en la variedad Deli x AVROS. En el híbrido Amazon, el porcentaje de frutos totales en el racimo fue de 60% (35% frutos fértiles y 25% frutos partenocárpicos), con un promedio

de 80 individuos del polinizador por inflorescencia femenina en antesis.

El peso promedio del racimo se asoció con la variación estacional en la población de los adultos de *E. kamerunicus* y la proporción de frutos partenocárpicos aumentó cuando la visitación a las inflorescencias femeninas se redujo (Fig. 5).

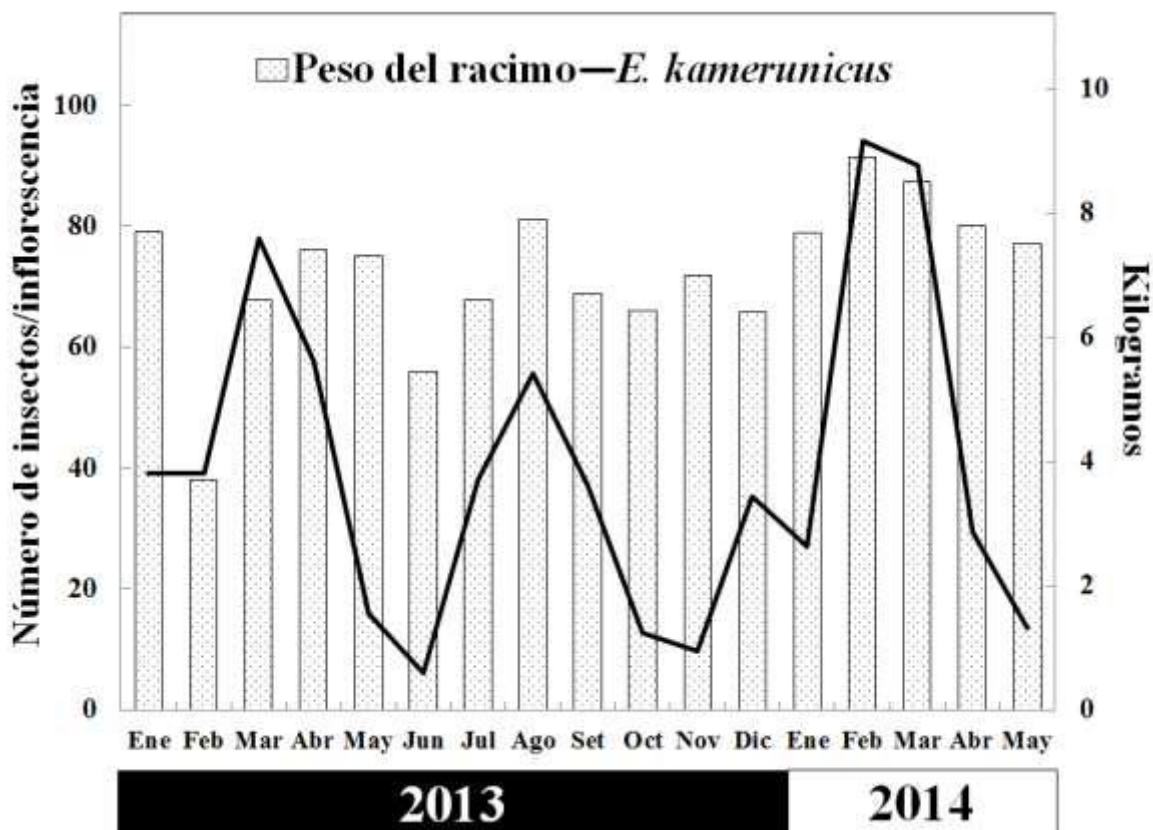


Fig. 5. Peso del racimo maduro en el híbrido Amazon en función del número de *E. kamerunicus* que visitaron las inflorescencias femeninas en antesis. Kukra Hill, Nicaragua.

Durante los primeros 16 meses de cosecha, la parcela de Amazon que fue polinizada naturalmente por insectos tuvo una producción de fruta acumulada que superó en 2.6 toneladas la producción obtenida con polinización asistida en este mismo híbrido en Colombia (Fig. 6). Las

diferencias anotadas se asocian con un aumento en la proporción de frutos fértiles con la polinización natural, tal y como lo encontraron Harun y Noor (2002) trabajando con una variedad '*guineensis*'.

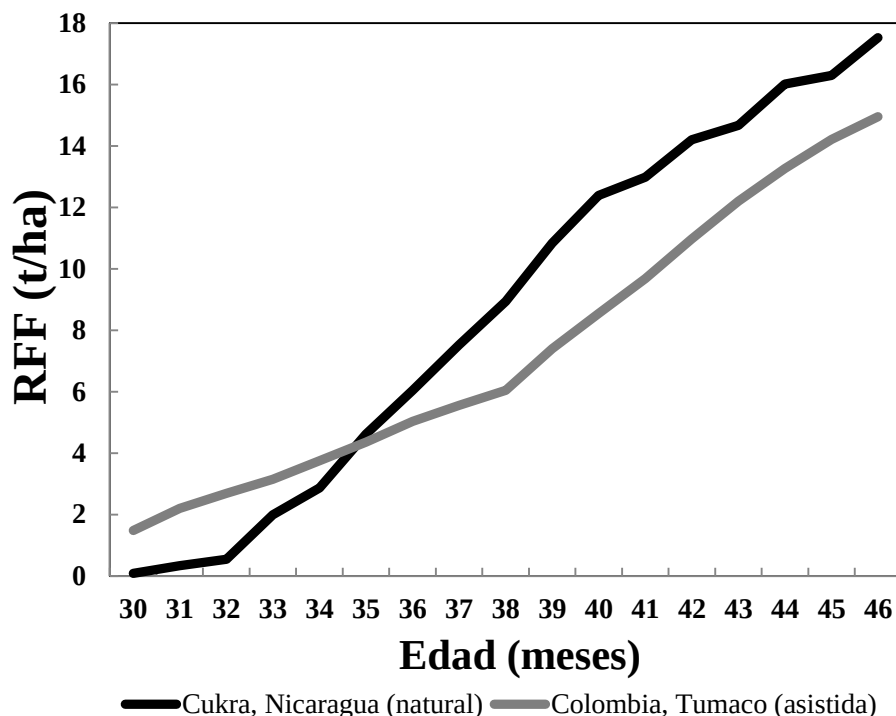


Fig. 6. Producción acumulada de racimos de fruta fresca (RFF) en el híbrido Amazon con dos sistemas de polinización.

Conclusiones

La polinización de las inflorescencias femeninas del híbrido Amazon puede ser realizada de manera eficiente por el insecto *E. kamerunicus* en bloques pequeños (100 a 200 has), si existe suficiente polen en el ambiente proveniente de plantaciones cercanas de *E. guineensis*. Este híbrido particular tiene inflorescencias masculinas que ofrecen un sustrato adecuado para la alimentación y reproducción del insecto y las inflorescencias femeninas en antesis atraen a los adultos del polinizador. El resultado final es una buena conformación del racimo (*fruit set*) y alta producción de aceite.

La población de adultos de *E. kamerunicus* se asoció directamente con la densidad de

inflorescencias masculinas y con el patrón de lluvias; lo cual a su vez afectó la capacidad del insecto de reproducirse en las inflorescencias masculinas y su habilidad de visitar las flores femeninas durante el periodo de antesis. Estas tendencias fueron claras tanto para el híbrido Amazon como para la variedad '*guineensis*'

El trabajo reciente en ASD Costa Rica para desarrollar variedades *guineensis* con alta tolerancia a las pudriciones del cogollo (PC), permitirá utilizarlas en combinación con plantaciones comerciales del híbrido Amazon. Un posible arreglo espacial sería alternar franjas de dos o tres hectáreas de cada variedad.

Literatura citada

- Alvarado A., Henry J. 2015. Agronomic behavior of the Amazon hybrid. ASD Oil Palm Papers, 44: 9-16.
- Blaak G., Sparnaaij D., Menendez T. 1963. Breeding and inheritance in the oil palm *Elaeis guineensis* Jacq. Part II. Methods of bunch quality analysis. J. W. Afr. Inst. Oil Palm Res, 4: 146-155.
- Bulgarelli J., Chinchilla C., Rodríguez R. 2002. Male inflorescences, population of *Elaeidobius kamerunicus* (Curculionidae) and pollination in a young commercial oil palm plantation in a dry area of Costa Rica. ASD Oil Palm Papers, 24: 32-37.
- Chinchilla C., Escalante M., Richardson D. 1990. Pollination of oil palm in Central America. 1. Population dynamics and behaviour of the pollinating insects. Turrialba, 40(4): 461-470.
- Dhileepan K. 1994. Bulletin of Entomological Research. Variation in populations of the introduced pollinating weevil (*Elaeidobius kamerunicus*) (Coleoptera: Curculionidae) and its impact on fruit set of oil palm (*Elaeis guineensis*) in India. 84: 477-485.
- Harun M., Noor M. 2002. Journal of Oil Palm Research. Fruit set and oil palm bunch components. 14(2): 24-33.
- Kewan P., Hussein M., Hussein N., Wahid M. 1986. Modelling the use of *Elaeidobius kamerunicus* for pollination of oil palm. Planter 62: 89-99.
- Lacerda J., Cividanes F., Santos L., Pires J., Lima E. 2013. Influence of floral fragrances of the hybrid (caiaué x oil palm) on pollinators visitation. Agrotrópica 25(2): 97-102.
- Syed R. 1984. Los insectos polinizadores de la palma africana. Palmas 5: 19-64.

Pollination by *Elaeidobius kamerunicus* in the Amazon interspecific hybrid (*E. oleifera* x *E. guineensis*) on the Atlantic coast of Nicaragua

Henry Jeremy¹, Alvarado Amancio², Sanchez María Yesenia³, Lezama Humberto⁴

ABSTRACT

The visitation pattern of the pollinator *Elaeidobius kamerunicus* to inflorescences of both sexes of the Amazon hybrid and the population changes of this insect in relation to rainfall patterns were studied and documented. This information was correlated with the composition of the bunch, oil content in the fruit, and the accumulated production of fruit bunches. The study was conducted on the Atlantic coast of Nicaragua in a 35-hectare plot planted in 2010 with the Amazon hybrid (*Elaeis oleifera* x *E. guineensis*). Observations began when the palms had 30 months of age and continued for two years. The plot is approximately one kilometer away from commercial plantings of *E. guineensis*.

The number of insects per hectare varied with the density of male inflorescences in anthesis and the percentage of the emergence of adults from those flowers. These variables were affected by the rainfall pattern. During the rainy season (average monthly precipitation: 266 mm), when the density of male inflorescences in anthesis was highest, the maximum pollinator population was estimated at 20 000 individuals/ha/month.

The visits of *E. kamerunicus* to female inflorescences in anthesis was higher in the dry season, with maximum values of 120-200 individuals per inflorescence in 48 hours. A higher number of insects in the female inflorescence in anthesis was associated with higher ripe bunch weight.

The accumulated production of fruit -with entomophilous pollination – during the first 16 months of the study was 2.6 t/ha higher than that obtained with assisted pollination in commercial plantations of this same hybrid in Colombia.

It was concluded that the male inflorescences of the Amazon hybrid offer a favorable substrate for the visitation and reproduction of the pollinator *E. kamerunicus*, and that the female inflorescences effectively attract the pollinator, which increases the percentage of normal fruits in the bunch with no need for assisted pollination. However, the nearby or alternating presence of a certain proportion of *E. guineensis* palms to supplement pollen production and ensure good bunch formation is desirable. Given that one of the greatest strengths of the Amazon hybrid is its high tolerance to spear rots (*pudriciones del cogollo* or PC), it is desirable that the accompanying *guineensis* palms also be tolerant to this condition, a line of work in which ASD Costa Rica has also made important advances.

Keywords: oil palm, OXG interspecific hybrid, *Elaeidobius kamerunicus*

¹ASD Costa Rica, j.hbejarano@asd-cr.com

²ASD Costa Rica, a.alvarado@asd-cr.com

³ASD Costa Rica, Nicaragua, mysanchez@cukra.com

⁴Museo de Insectos de la Universidad de Costa Rica, oncidere@gmail.com

Introduction

High productivity in oil palm depends on adequate entomophilous pollination. *Elaeis guineensis* Jacq. is a species native to western Africa where it is pollinated mainly by four species of insects: *Elaeidobius kamerunicus*, *E. subvittatus*, *E. plagiatus* and *E. singularis*. Of these, *E. kamerunicus* is the most efficient and predominant species (Syed 1984); it was introduced to Costa Rica in 1985 and is now common throughout Central America (Bulgarelli et al. 2002; Chinchilla et al. 1990).

E. kamerunicus uses the male inflorescences of *E. guineensis* to complete its life cycle (feeding, reproduction, oviposition and larval development) (Syed, 1984; Kewan et al. 1986). Due to its close relationship with *E. guineensis*, the insect has limitations to becoming established in plantations of OxG interspecific hybrids (*E. oleifera* x *E. guineensis*) Syed (1984).

The Amazon hybrid (OxG compound: exclusive to ASD Costa Rica) is characterized by its high

tolerance to spear rots (*pudriciones del cogollo* or PC), slow increase in trunk height, short leaves and high monounsaturated oil content. Its high precocity gives it an additional advantage over other commercial hybrids, which is associated with a short cycle of androgynous flowers and moderate pollen production (five grams per male inflorescence), with viability higher than 25% (Alvarado & Henry 2015).

Due to the scant information available on the behavior of *E. kamerunicus* in OxG hybrids (Chinchilla et al. 1990, Lacerda et al. 2013, Syed 1984), this study documented the relationships between the abundance of male inflorescences, the population of *E. kamerunicus* and the visitation of the pollinator to the female inflorescences in anthesis with the distribution of rains in a young plantation of the Amazon hybrid. In addition, bunch composition and the oil content were documented and found to be similarly related to variation in the insect populations and their behavior.

Materials and methods

The study was conducted in a 35-ha plot of 30-month old Amazon hybrids (planted in September 2010), located in the Caribbean region of Nicaragua (Kukra Hill). Amazon palms were planted at a density of 143 palms/ha in conventional hexagonal ring arrangements, where the central palm was of the Tanzania x Ekona variety (*E. guineensis*), which shows tolerance to spear rots and the intent was to use it as a pollen source. Each hectare contained 24 *guineensis* palms and 119 hybrid palms.

In the period 2010 to 2014, the dry season occurred from January to April (average monthly precipitation: 100 mm), and the rainy season from May to December (average monthly precipitation: 266 mm). The mean temperature was 26.3° C (maximum: 34.4° C; minimum: 19.2°

C) with average solar radiation of 23 MJ. In 2013, the accumulated precipitation was 3,900 mm and in 2014 it fell to 2600 mm. The study plot is part of a 180-ha commercial block of the Amazon hybrid located approximately one kilometer away from *guineensis* plantations. The influence of pollen from these '*guineensis*' palms is expected to have been minimal, with the exception of the palms in the center of each hexagon as described.

Data were taken monthly from January 2013 to December 2014 on the number of male inflorescences, the emergence of *E. kamerunicus* from those inflorescences and the visitation pattern of adult insects to the female inflorescences. Between July and December 2014 (palms 47 to 52 months old), bunch

composition was analyzed: average bunch weight, the proportion of fertile fruits, and their oil content. Rainfall was documented during the two dry seasons: January to April 2013 (monthly average: 90 mm) and January to April 2014 (average: 63 mm) and the two rainy seasons: May to December 2013 (average: 447 mm) and May to December 2014 (average: 281 mm). The number of male inflorescences of the Amazon hybrid and the Tanzania x Ekona variety was determined in one hectare selected at random within the plot in each evaluation. Inflorescences about to initiate anthesis, in anthesis and in the post-anthesis stage were taken into account.

The emergence of *E. kamerunicus* adults from the male inflorescences was determined in a sample of three inflorescences of each variety collected two days after the anthesis phase finished. For this, the inflorescences were previously identified when the flowers of the distal part were still releasing pollen. Each

inflorescence was placed in a 20-liter cylindrical plastic container with a nylon mesh cap to contain the insects. Once the emergence of the insects began (3-4 days after collection), the number of *E. kamerunicus* adults that emerged were quantified daily for 20 days.

Five female inflorescences of the hybrid were selected when the floral buttons of the basal and medial sections were about to open. Remnant fibers were eliminated and then a transparent plastic band 30 cm long and 5 cm wide with a colorless and odorless adhesive on its surface for the sampling of insects (*Tangle-Trap*®) was placed on the inflorescence (along its main axis). The band was placed between 6 a.m. and 9 a.m. and then removed 48 hours later to quantify the number of *E. kamerunicus* adults trapped. Approximately six months later, the bunch components were analyzed using the methodology of Blaak et al. (1963).

Results and discussion

Density of male inflorescences, emergence of *E. kamerunicus* adults, population per hectare and bunch formation

In the period January to April 2013 (average of 3400 insects per inflorescence in the two varieties) and February to April 2014 (3770 insects), the largest number of *E. kamerunicus* insects emerged per male inflorescence, whilst during the months from May to August 2013 and July to November 2014 the emergence showed a reduction (Fig. 1). During 2014, the emergence of

E. kamerunicus adults was similar for the Amazon hybrid and the *guineensis* variety.

The above indicates that the period of higher rainfall had a negative effect on the emergence of the insects, which was extended until the start of the dry season. Similar results were obtained by Chinchilla et al (1990) for the Deli x AVROS variety. The authors indicated that this behavior could be the effect of a regulation by natural enemies during the rainy season.

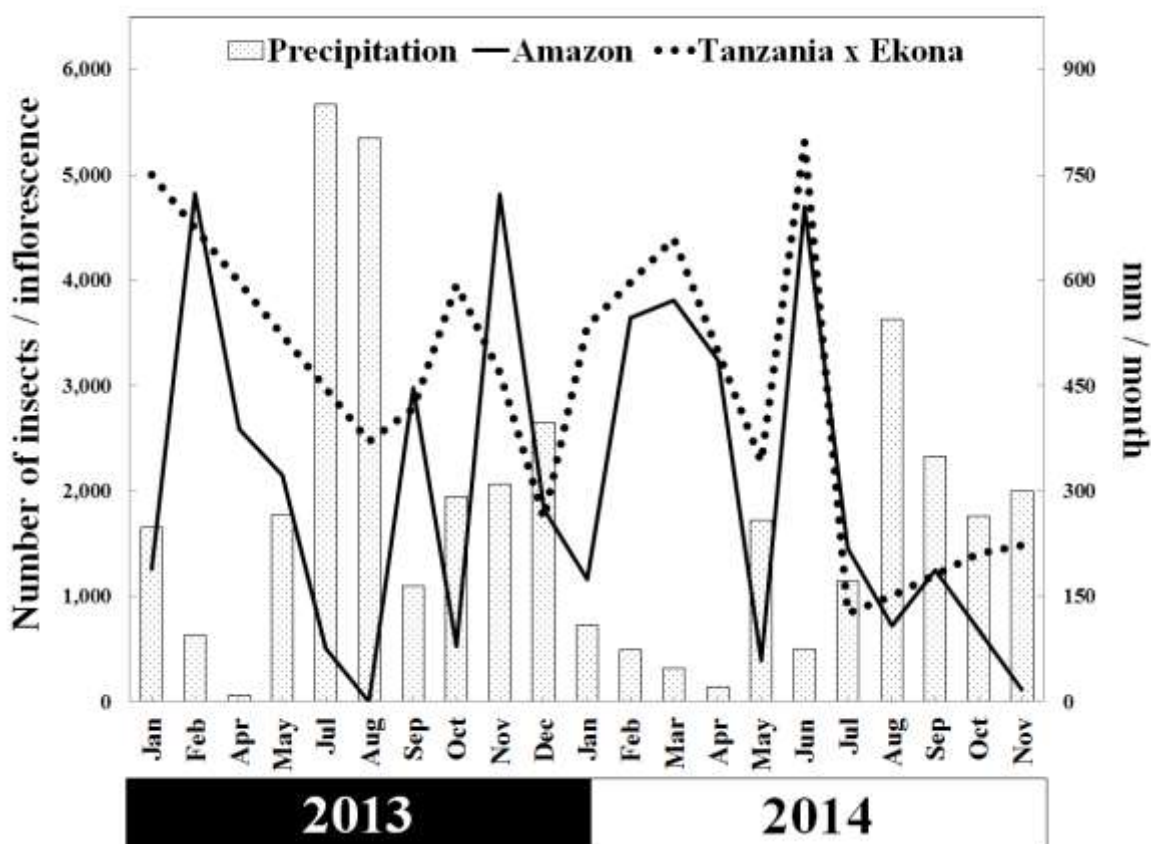


Fig. 1. Rainfall and seasonal variation in the number of *E. kamerunicus* adults that emerged from male inflorescences of the Amazon hybrid and the *guineensis* Tanzania x Ekona variety. Kukra Hill, Nicaragua.

In the period from October 2013 to March 2014, the Amazon hybrid produced five male inflorescences per hectare on average, while from April to December 2014, this increased to 21 (Fig. 2). This notable change in male inflorescence production was similar to that described by Bulgarelli et al. (2002) in adult palms of the *guineensis* Deli x AVROS variety. These authors determined that a stress factor, which appears to affect the sex ratio (favoring the production of male inflorescences), was the excess of water in the soil two years earlier. Therefore, the high precipitation occurring 24

months earlier during the rainy season of 2012 (average monthly precipitation for April to November: 230 mm), probably favored the differentiation of male inflorescences in Amazon and Tanzania x Ekona. During January to August 2014, the Amazon hybrid produced more male flowers than Tanzania x Ekona (14 and 2 flowers/ha, respectively). From September to December 2014, Amazon showed a reduction in the production of male inflorescences (9), while this was increased in Tanzania x Ekona (11) (Fig. 2).

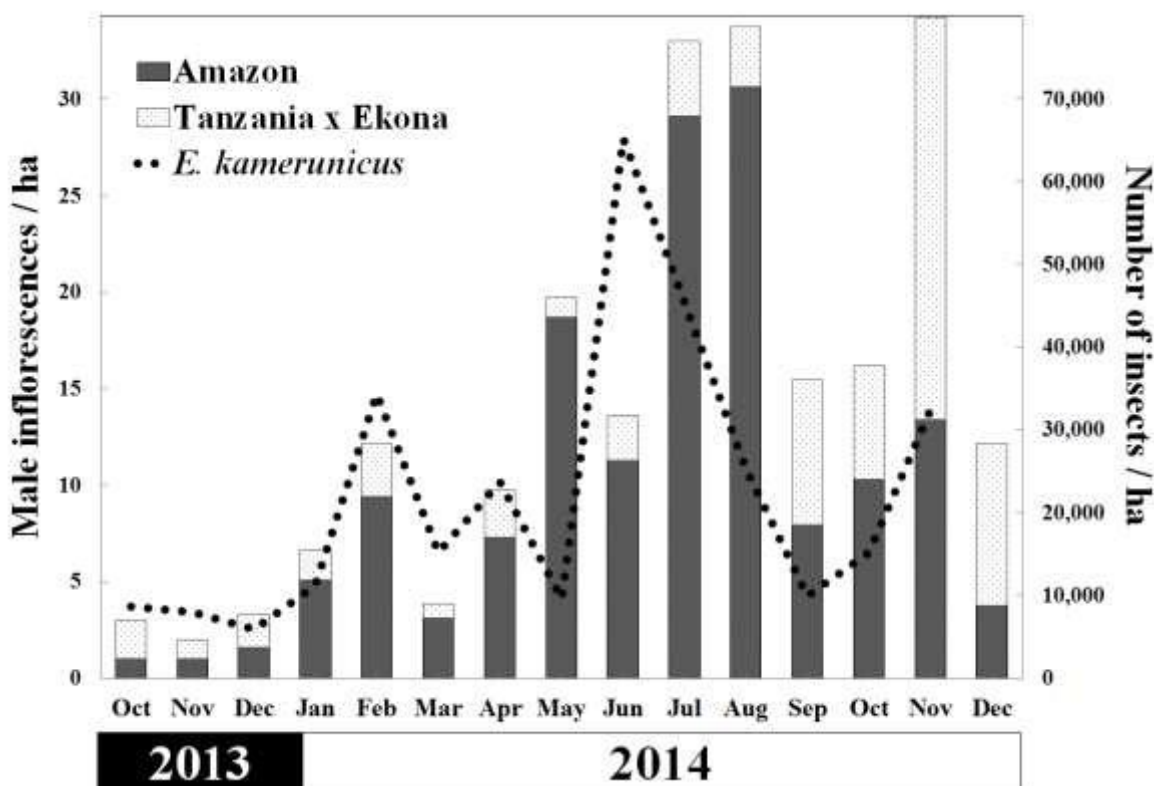


Fig. 2. Monthly fluctuation in number of male inflorescences per hectare and number of *E. kamerunicus* adults in a young commercial plantation of the Amazon hybrid (119 palms/ha), arranged in a hexagonal ring planting design (143 palm/ha) together with one *guineensis* Tanzania x Ekona palm planted in the center of each hexagon (24 palms/ha). Kukra Hill, Nicaragua.

The fluctuation in the number of insects per unit of area was defined by the variations in the number of male inflorescences of the hybrid and by the number of insects that emerged from those inflorescences. These variables in turn were associated with the rainfall pattern. During the season of less rainfall in 2014 (January to April), when average monthly rainfall was 60 mm, the pollinator population was estimated at 21 100 individuals/ha/month. In that period the largest emergence of adult insects from the male inflorescences occurred (3300). However, the number of male inflorescences per hectare was eight, which is considered low.

Between May and November of that year, when average monthly precipitation was 280 mm, the number of *E. kamerunicus* adults increased to 28 500/ha/month, as a result of the increase in the

number of male inflorescences per ha (24), but the adult emergence was lower (1665). The population peak of adults in June 2014, was associated with low precipitation (75 mm) and the increment in the amount of male inflorescences/ha (Figs. 1 and 2).

According to Syed (1984), a population of 20 000 adults of *E. kamerunicus*/ha/month is sufficient to achieve bunches with 60% fertile fruits in commercial *guineensis* plantations. In the case of the Amazon hybrid, it was estimated that the population of *E. kamerunicus* remained at 26 000 adults/ha/month, which was associated with bunches with 35% fertile fruits. To date, the experience with this hybrid allows us to conclude that this percentage of fertile fruits is associated with normal bunch ripening, and by adding the 25% of parthenocarpic fruits, we obtain a total of 60% of fruits with oil per bunch (Table 1).

Table 1. Bunch components and oil content of the Amazon hybrid and the *guineensis* Tanzania x Ekona variety in a commercial plantation at Kukra Hill, Nicaragua and in an experimental plot in Coto, Costa Rica. Period = 47 to 52 months after planting

LOCALITY	VARIETY	NS	BW	FF/B	PF/B	F/B	FW	M/F	O/MF	O/MP	OB
Coto	Tanzania x Ekona	25	8.1	65.0	4.3	69.3	9.8	85.8	45.5	n.d.	27.1
	Amazon	25	9.6	46.9	10.1	57.0	10.3	77.4	48.2	28.3	20.6
Kukra	Amazon	25	9.5	35.0	25.3	60.3	13.5	79.3	44.0	31.7	20.4

n.d.: not determined; NS: total samples analyzed; BW: bunch weight, kg; FF/B: fertile fruits in the bunch, %; PF/B: parthenocarpic fruits in the bunch, %; F/B: fruits in the bunch, %; FW: average fruit weight, g; M/F: mesocarp in the fruit, %; O/MF: oil in the mesocarp in fertile fruits, %; O/MP: oil in the mesocarp in parthenocarpic fruits, %; O/B: oil in the bunch, %.

Emergence of *E. kamerunicus* adults from male inflorescences.

The duration of the emergence period (days), the number of adults emerged per day and the total number of insects per male inflorescence were different between the dry and rainy seasons during the two years evaluated. During the drier season in 2013, adult emergence lasted 18 days in Amazon and 16 days in Tanzania x Ekona. The emergence was reduced to a period of 15 days in both materials during the rainy season. In 2014, the emergence of insects in both materials lasted for 18 days in the dry season and 21 days in the rainy season (Fig. 3).

In the two varieties the daily emergence of *E. kamerunicus* adults was lower during the rainy season with respect to the dry season. In Amazon, in the dry season of 2013, daily emergence was 225 and 160 in the rainy season, whilst in Tanzania x Ekona it went from 472 to 265 individuals in the dry and rainy seasons

respectively. Similarly, in 2014, daily emergence in Amazon went from 185 in the dry season to 84 in the rainy season and in the case of Tanzania x Ekona, it fell from 334 to 154 individuals.

The total emergence (accumulated for 20 days) of insects per male inflorescence was lower in Amazon than in Tanzania x Ekona. In 2013, the emergence in Amazon was 2386 and in Tanzania x Ekona it was 3179 adults, while in 2014 a reduction occurred in emergence in both materials (1995 in Amazon and 2535 in Tanzania x Ekona). This was because the emergence per day during 2014 was reduced to nearly half with respect to the previous year (Fig. 3). Similarly, Lacerda et al (2013) documented that the emergence of *E. kamerunicus* adults from male inflorescences was lower in an OxG hybrid with respect to the *guineensis* material, with 1400 insects for the hybrid and 7620 in the case of the African species.

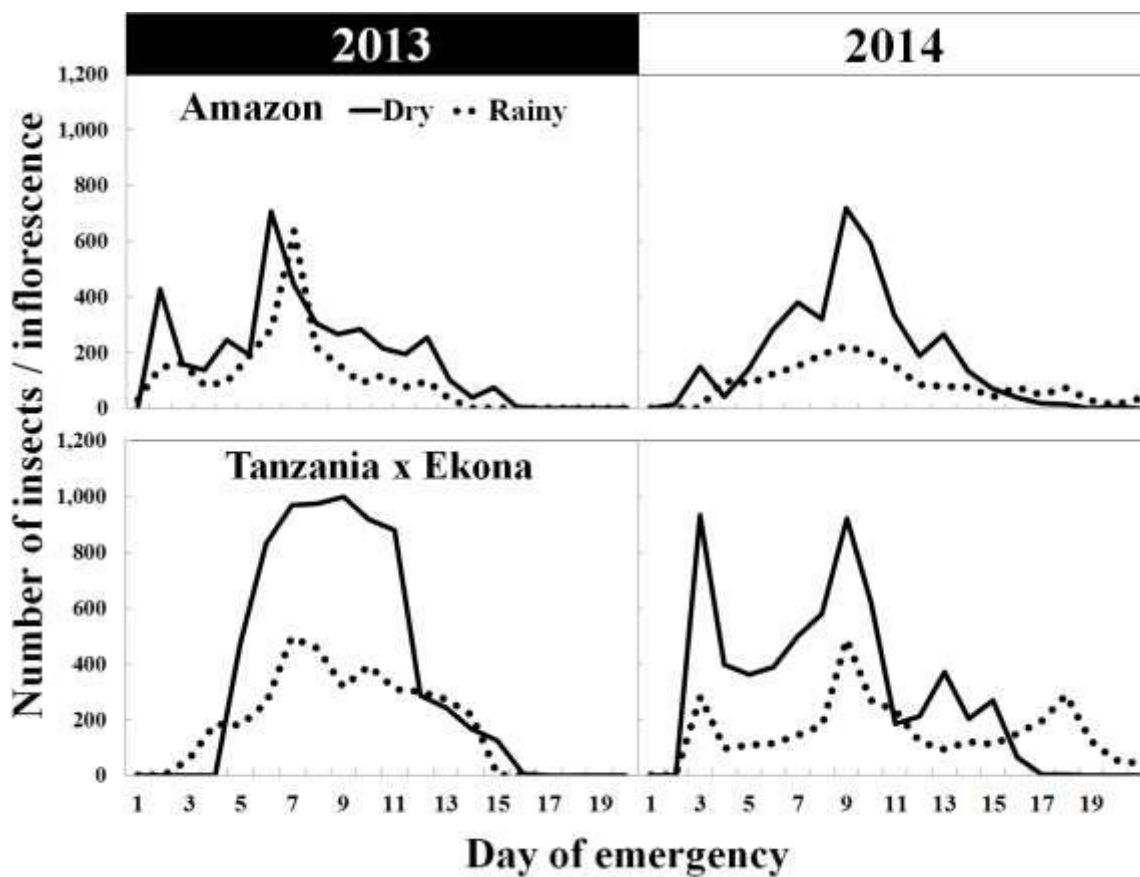


Fig. 3. Daily fluctuation in emergence of *E. kamerunicus* from male inflorescences of the Amazon hybrid and the *guineensis* Tanzania x Ekona variety. Kukra Hill, Nicaragua. The observations were made on 30-month-old palms during a period of 20 days.

Visitation of female inflorescences by pollinators

The number of *E. kamerunicus* adults that visited female inflorescences of the Amazon hybrid was higher in the absence of rainfall and with slight rains. The largest number of visits was recorded in March (dry period) and the least visitation occurred during several months with high rainfall in both years of the study (Fig. 4).

In an *E. guineensis* plantation, Dhileepan (1994) found that the number of insect pollinators visiting the female inflorescences in anthesis depended mainly on the size of the insect population and not the number of male inflorescences available per unit of area. Therefore, when the population of insects was reduced during the rainiest periods of the year, this also diminished the number of insects that visited the female inflorescences in anthesis.

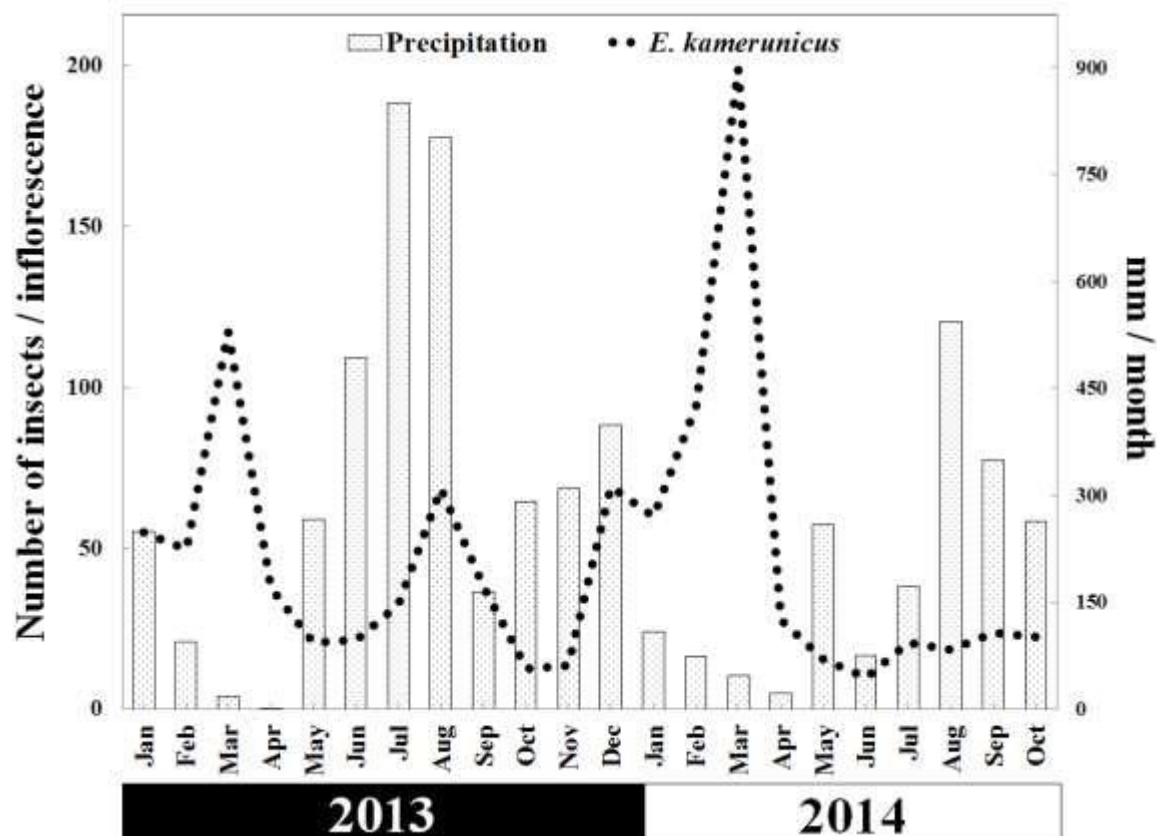


Fig. 4. Rainfall and visitation of *E. kamerunicus* to female inflorescences in anthesis of the Amazon hybrid. Kukra Hill, Nicaragua.

Chinchilla et al. (1990) found that 300 *E. kamerunicus* adults per female inflorescence in anthesis were associated with bunches with nearly 70% of fruits pollinated in the Deli x AVROS variety. In the Amazon hybrid, the percentage of total fruits in the bunch was 60% (35% fertile fruits and 25% parthenocarpic

fruits), with an average of 80 individuals of the pollinator per female inflorescence in anthesis.

Average bunch weight was associated with seasonal variation in the population of *E. kamerunicus* adults and the proportion of parthenocarpic fruits increased when visitation to female inflorescences was reduced (Fig. 5).

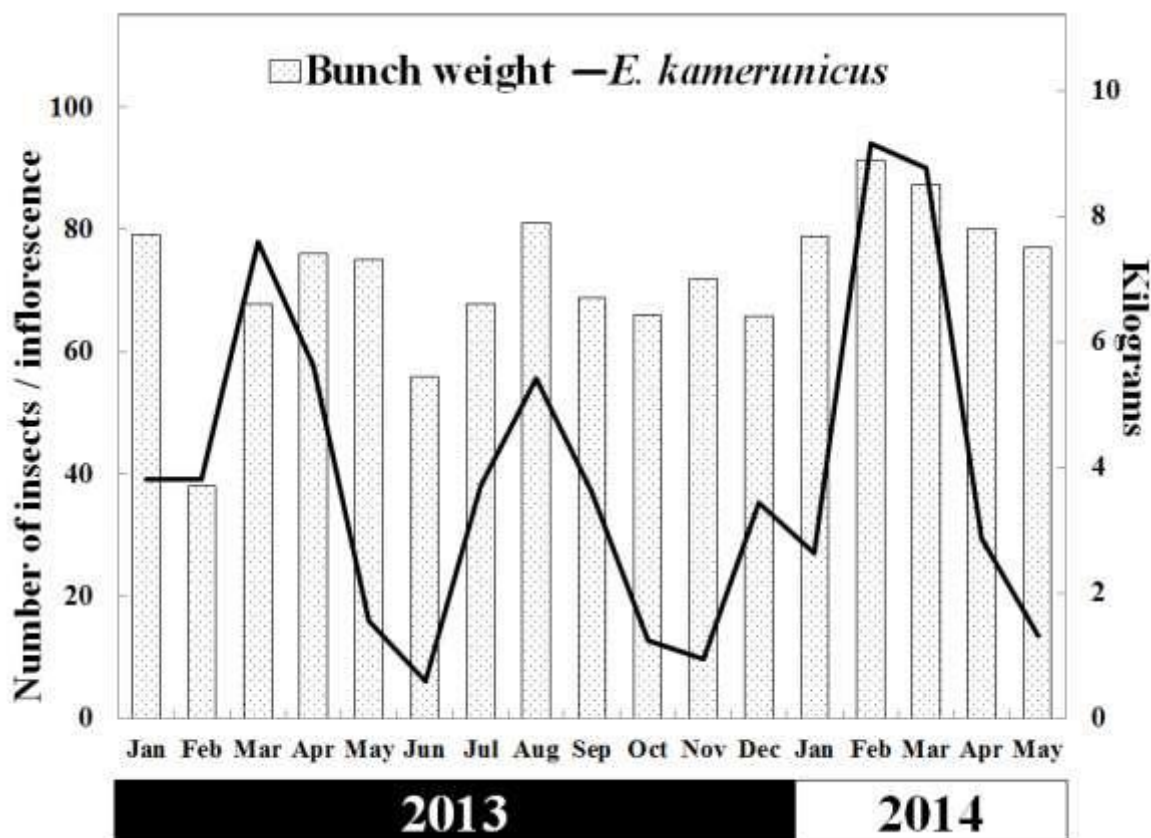


Fig. 5. Ripe bunch weight in the Amazon hybrid based on the number of *E. kamerunicus* that visited female inflorescences in anthesis. Kukra Hill, Nicaragua.

During the first 16 months of harvest, the Amazon plot that was pollinated naturally by insects had an accumulated fruit production that exceeded by 2.6 tons the production obtained with assisted pollination in this same hybrid in

Colombia (Fig. 6). The differences noted are associated with an increase in the proportion of fertile fruits with natural pollination, as found by Harun & Noor (2002) working with a '*guineensis*' variety.

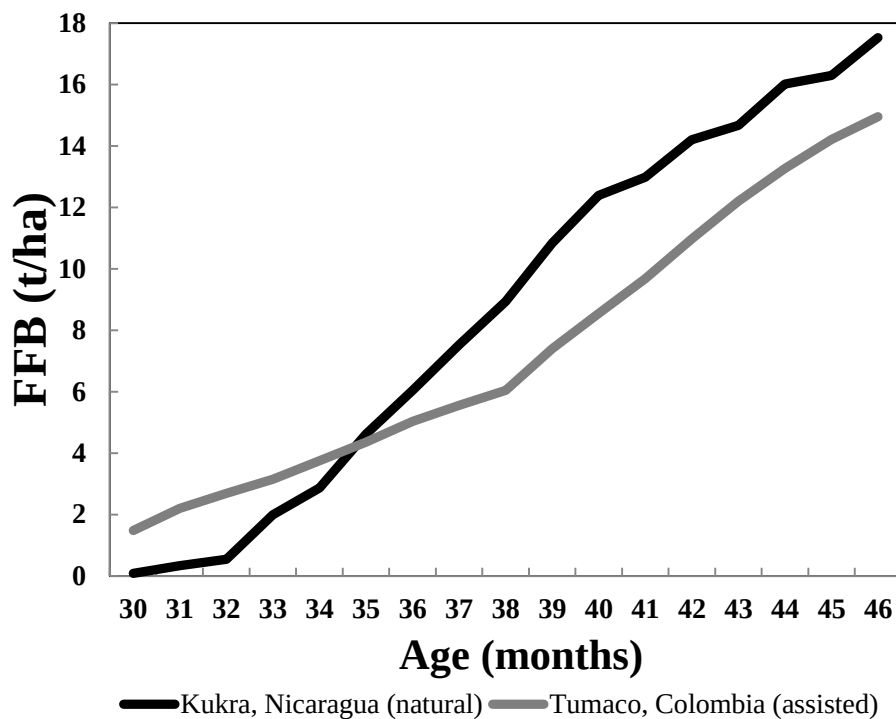


Fig. 6. Accumulated production of fresh fruit bunches (FFB) in the Amazon hybrid with two pollination systems: Nicaragua (natural) and Colombia (assisted)

Conclusions

Pollination of the female inflorescences of the Amazon hybrid can be done efficiently by the insect *E. kamerunicus* in small blocks (probably less than 200 ha), if sufficient pollen exists in the area from nearby plantations of *E. guineensis*. This particular hybrid has male inflorescences that provide an adequate substrate for the feeding and reproduction of the insect and the female inflorescences in anthesis attract adult pollinators. The final result is good bunch formation (*fruit set*) and high oil production.

The population of *E. kamerunicus* adults was directly associated with the density of male

inflorescences and with the rainfall pattern, which in turn affected the capacity of the insect to reproduce in the male inflorescences and its ability to visit female flowers during anthesis. These tendencies were clear for the Amazon hybrid as well as the '*guineensis*' variety.

Recent work at ASD Costa Rica to develop *guineensis* varieties with high tolerance to spear rots (PC), will allow their use in combination with commercial plantations of the Amazon hybrid. One possible spatial arrangement would be alternating strips of two or three hectares of each variety.

Literature cited

- Alvarado A., Henry J. 2015. Agronomic behavior of the Amazon hybrid. ASD Oil Palm Papers, 44: 9-16.
- Blaak G., Sparnaaij D., Menendez T. 1963. Breeding and inheritance in the oil palm *Elaeis guineensis* Jacq. Part II. Methods of bunch quality analysis. J. W. Afr. Inst. Oil Palm Res, 4: 146-155.
- Bulgarelli J., Chinchilla C., Rodríguez R. 2002. Male inflorescences, population of *Elaeidobius kamerunicus* (Curculionidae) and pollination in a young commercial oil palm plantation in a dry area of Costa Rica. ASD Oil Palm Papers, 24: 32-37.
- Chinchilla C., Escalante M., Richardson D. 1990. Pollination of oil palm in Central America. 1. Population dynamics and behaviour of the pollinating insects. Turrialba, 40(4): 461-470.
- Dhileepan K. 1994. Bulletin of Entomological Research. Variation in populations of the introduced pollinating weevil (*Elaeidobius kamerunicus*) (Coleoptera: Curculionidae) and its impact on fruit set of oil palm (*Elaeis guineensis*) in India. 84: 477-485.
- Harun M., Noor M. 2002. Journal of Oil Palm Research. Fruit set and oil palm bunch components. 14(2): 24-33.
- Kewan P., Hussein M., Hussein N., Wahid M. 1986. Modelling the use of *Elaeidobius kamerunicus* for pollination of oil palm. Planter 62: 89-99.
- Lacerda J., Cividanes F., Santos L., Pires J., Lima E. 2013. Influence of floral fragrances of the hybrid (caiaué x oil palm) on pollinators visitation. Agrotrópica 25(2): 97-102.
- Syed R. 1984. Los insectos polinizadores de la palma africana. Palmas 5: 19-64.