



ISSN
1019-1100

NUMBER 44, 2015

ASD OIL PALM PAPERS



A five-year-old palm of the OxG hybrid Amazon. (Palma de cinco años de edad del híbrido OxG, Amazon)



“ASD OIL PALM PAPERS”
IS A BIENNIAL PUBLICATION OF
ASD COSTA RICA
(Agricultural Services and Development)

Number 44

2015

EDITOR: Carlos 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>

CONTENT

1. *Comportamiento agronómico del híbrido OxG Amazon*
9. Agronomic behavior of the Amazon hybrid
A. Alvarado , J. Henry
17. *Seguimiento morfo-fisiológico de palmas aceiteras (Elaeis guineensis Jacq.)
afectadas por pudriciones del cogollo (PC)*
26. Morpho-physiological monitoring of oil palms (*Elaeis guineensis* Jacq.)
affected by spear rots (PC)
Joaquín Torres, Marco Gutiérrez, Carlos Chinchilla

Cover page

Palma de cinco años de edad del híbrido OxG, Amazon. Nótese la escasa
cobertura de fibras de la inflorescencia femenina en antesis

A five-year-old palm of the OxG hybrid Amazon. Note the almost
complete exposure of the female inflorescence in anthesis (few fibres)

Comportamiento agronómico del híbrido OxG Amazon

A. Alvarado¹, J. Henry

Resumen

El híbrido OxG Amazon (*E. oleifera* x *E. guineensis*) es una variedad exclusiva de ASD Costa Rica, cuyo desarrollo se inició en la década de 1990. La segunda generación fue liberada comercialmente en 2008, para responder a la demanda de materiales de palma aceitera tolerantes a las ‘pudriciones del cogollo’ (PC). Amazon comparte con otros híbridos la tolerancia a estos problemas, la alta producción de fruta, el lento incremento en altura del tronco y la alta insaturación del aceite. No obstante, tiene otras características que lo hacen superior a los híbridos tradicionales, ya que tiene hojas más cortas, peciolo de grosor similar a una ‘*guineensis*’ (cosecha más fácil), y muestra alta precocidad asociada con un corto ciclo de flores andróginas. Su producción inicial de fruta también es mayor, aún en condiciones de libre polinización, cuando existe polen ‘*guineensis*’ en el medio.

Hasta el año 2013 había sembradas cerca de 6000 hectáreas de Amazon en varios países; en donde la PC en las plantaciones con mejor manejo agronómico estuvo por debajo de 1%. Además, las pocas palmas afectadas respondieron rápidamente a la cirugía del tejido afectado (100% de recuperación). La producción promedio en varias plantaciones en Colombia (Tumaco) alcanzó 8 t/ha de fruta fresca en el primer año (ámbito: 4.5-9.5 t/ha) y 11.5 t en el segundo (9-13.5 t). La extracción industrial de aceite al final del segundo año fue de 20.5%. Sin embargo, cuando hubo limitaciones por mal drenaje, déficit hídrico y baja fertilidad del suelo, la producción de fruta fue menor y se redujo el grado de tolerancia a la PC. Una de las fortalezas de Amazon es la escasa presencia de fibras envolventes (espatas) en las inflorescencias femeninas durante la antesis (lo cual facilita la polinización asistida) y la gran fragancia de las flores (facilita la atracción y visita de insectos polinizadores).

Este artículo resume el comportamiento histórico de las parcelas experimentales de la primera generación de Amazon plantado en 1993 y las características de la segunda generación comercial (primeros dos años en el campo).

¹ ASD Costa Rica, Apdo 30-1000, San José, Costa Rica, a.alvarado@asd-cr.com

Los híbridos OxG en América tropical y las pudriciones del cogollo (PC)

La pudrición del cogollo (PC) ha limitado la expansión de la palma aceitera en varias regiones de América tropical (Le Guen et al., 1991; Franqueville, 2001; Chinchilla, 2010). Además del efecto positivo que tiene el mejoramiento de las prácticas agrícolas como medio para prevenir o atenuar los efectos de la PC, el uso de híbridos interespecíficos *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* (OxG) se ha considerado parte fundamental en el manejo de estos desórdenes. Sin embargo, la tolerancia de los híbridos OxG a la PC no es completa y distintos cruces de madres *oleifera* de las regiones de Amazonia y de América Central han mostrado un grado de incidencia de PC variable (0-81%), entre el quinto y el décimo año de edad en el campo (Barba et al., 2010a).

A pesar de la tolerancia de algunos híbridos OxG a la PC, estos aún no son considerados una alternativa óptima para sustituir las variedades *guineensis*, principalmente por su menor tasa de extracción de aceite, crecimiento vigoroso y deficiente polinización natural. En este artículo se resume las características de un nuevo híbrido OxG considerado excepcional, seleccionado dentro de un grupo de cruces entre palmas madres *oleifera* nativas de Manaos, Brasil, combinadas con *pisiferas* de variedades compuestas compactas²; las cuales también poseen genes *oleifera* (6-12 %). Esta combinación fue llamada Amazon y tiene características muy favorables en comparación con otros híbridos, tales como hojas cortas, similares a *guineensis*, menor cobertura (por espaldas) de las inflorescencias femeninas en anthesis y auto-compatibilidad de su polen. En el resto de este documento, los híbridos tradicionales (50 % de genes *oleifera* y 50 % de genes *guineensis*) serán denominados simplemente como 'híbridos OxG', en contraste con el nuevo híbrido (tema de este artículo), que se denominará Amazon y que contiene una mayor carga de genes *oleifera*.

En algunas regiones de Colombia y Ecuador, donde la siembra de variedades tradicionales de palma aceitera (*E. guineensis*) está limitada por la presencia del complejo de pudriciones del cogollo, se ha intensificado el uso de variedades de híbridos OxG. Entre 40 y 50 mil hectáreas han sido sembradas con híbridos (de ellas unas 20 mil en Colombia y 20 mil en Ecuador). Amazon ocupa unas 6800 hectáreas, principalmente en Colombia, Ecuador y Brasil (Cuadro 1). La mayoría de las plantaciones de híbridos OxG están sembradas a una densidad de 116 palmas/ha (10 x 10 m), pero debido a sus hojas más cortas, el híbrido Amazon ha sido plantado a 128 o 143 palmas/ha (9.5 m y 9.0 m en triángulo, respectivamente).

Cuadro 1. Área estimada sembrada con Amazon (ha) según las ventas de semillas por ASD de Costa Rica (periodo 2008-2013)

País	Área sembrada (ha)
Colombia	3,143
Ecuador	1,337
Brasil	1,167
Nicaragua	618
Costa Rica	433
Otros	137
Total	6,835

La mayoría de los híbridos OxG en América del Sur fueron desarrollados usando palmas *oleiferas* de Brasil y Ecuador, las cuales son denominadas por su origen: Coarí (la de uso más frecuente), Manicoré, Tefé, Manaos y Taisha (Ecuador). La mayor diferencia entre los híbridos OxG es la fuente de polen usada; por ejemplo, en los híbridos Coarí y Manicoré se usa padres 'La Mé', en los híbridos de origen Taisha se usa la línea AVROS, y en el caso de Amazon se usa madres *oleiferas* de origen Manaos y una población compuesta exclusiva de ASD como fuente de polen.

Evaluación inicial del germoplasma de *E. oleifera* en ASD y los orígenes de amazon

Durante el periodo entre 1967 y 1970, ASD estableció una colección de *Elaeis oleifera* con 326 accesiones provenientes de distintas regiones de Costa Rica, Panamá y Colombia. La mayoría de estos materiales

tenían un bajo contenido de aceite en el racimo (4.3-7.5%) (Escobar, 1980), lo cual fue luego corroborado por Mohd Din et al. (2000).

²Variedades con genoma compuesto de genes de *E. guineensis* y *E. oleifera* en grado variable

El trabajo de mejoramiento con el germoplasma de *oleifera* en ASD comenzó en 1978, con el establecimiento de una prueba de progenies en la que se evaluó 236 combinaciones de híbridos OxG: 105 palmas *oleifera* de 13 regiones de América Central y de Colombia. Como fuentes de polen se usó seis orígenes *guineensis* (AVROS, Ekona, Ulu Remis, Yangambi, WAIFOR y un compuesto Deli-Yangambi). Se encontró gran variación en la producción de fruta (46-216 kg/palma/año) y en el contenido de aceite en el racimo, que varió entre 13 y 21%. A los nueve años de edad de las palmas, el crecimiento fue más vigoroso en los híbridos OxG comparado con el testigo *guineensis* (Deli x AVROS), pues en los primeros la longitud foliar varió entre 7.7 y 8.5 m y en el testigo fue de 6.9 m (Sterling et al., 1999).

En Ecuador, Barba et al. (2010b) estudiaron híbridos OxG de diferente procedencia materna y encontraron que el origen Manicoré (Brasil) transmitió el mayor contenido de aceite en el racimo (23.4%), y que la mayor producción de racimos se obtuvo con híbridos originados con *oleiferas* de Armuelles (Panamá). El mayor contenido de aceite se obtuvo usando AVROS como fuente de polen, pero estos investigadores no tuvieron otras fuentes para escoger. Los autores recomendaron no establecer plantaciones de híbridos con densidades mayores a 128 palmas/ha, debido al

crecimiento vigoroso observado en las progenies evaluadas.

Treinta y seis híbridos provenientes de diferentes grupos de *oleiferas* (869 palmas) fueron sembrados por ASD en 1993 en el Atlántico norte de Panamá, para evaluar la tolerancia a las pudriciones del cogollo. El origen de las *oleiferas* fue Surinam, Manaos-Brasil (ambas de nuevas introducciones realizadas por ASD en 1979), Penonomé-Panamá, compuesto Quepos/Palmar - Costa Rica, compuesto Palmar/polen desconocido y Palmar; las cuales fueron cruzadas con *pisiferas guineensis* AVROS, Ghana, La Mé y Ekona. Las progenies mostraron 1,4% de casos de PC, en comparación con el testigo Deli x AVROS que alcanzó 17.7% de incidencia durante los tres años de evaluación.

Con base en esta experiencia preliminar, se seleccionó dos *oleiferas* provenientes de la región de Manaos (Brasil), las cuales mostraron mayor tolerancia (en una no hubo ningún caso). Estas palmas sobresalientes fueron cruzadas con *pisiferas* compuestas compactas de la primera generación de retrocruzamiento y su descendencia, caracterizada por tener hojas cortas, alta producción de fruta y alta tolerancia a las pudriciones del cogollo, se describe a continuación.

Amazon: primera generación

El programa de mejoramiento genético en palma de aceite de ASD Costa Rica se concentró en el uso del germoplasma *guineensis*. El mejoramiento de los híbridos OxG no fue una prioridad, por ser menos atractivo desde el punto de vista comercial. No obstante, debido a la demanda del mercado por semillas de híbridos OxG en zonas afectadas por las pudriciones del cogollo, ASD liberó el nuevo híbrido Amazon en 2008.

Generalmente se acepta que la tolerancia de los híbridos a la PC es el resultado de los genes heredados de la especie *E. oleifera*; por lo tanto se espera que el híbrido Amazon posea alta tolerancia debido a una mayor concentración de genes *oleifera* (más del 50%).

El carácter o “gen” compacto fue fijado después de tres ciclos de retrocruzamiento, partiendo de una palma con características excepcionales, de hojas cortas y lenta tasa de crecimiento del tronco, conocida como palma compacta original (PCO). Esta palma tenía una pobre composición del racimo y baja producción de aceite, de modo que fueron necesarios más de 35 años de pruebas de campo para fijar el carácter compacto (Sterling et al., 1987; Escobar y Alvarado, 2004; Alvarado et al., 2006).

Se estima que la PCO tenía 25% de genes *oleifera* en su genoma. Para incrementar su potencial de producción fueron usadas, en los ciclos de retrocruzamiento, varias fuentes *guineensis* mejoradas. Este proceso generó

diferentes poblaciones recombinantes, mezclando genes de *oleifera* y de *guineensis* en diversas proporciones (Escobar y Alvarado 2004). El híbrido Amazon de primera generación posee 56.25% de genes *oleifera*: 50% de la palma madre y 6.25% del padre compacto del primer ciclo de retrocruzamiento (BC₁, Cuadro 2). El resto de los genes (43.75%) es de origen *guineensis*.

Población	Genes <i>E. oleifera</i>
Híbrido OxG (polinización abierta)	50%
Palma compacta original (PCO)	25%
Primer retrocruce (BC ₁)	12.5%
Sub población: BC ₁ F ₁	12.5%
Sub población: BC ₁ F ₂	12.5%
Sub población: BC ₁ F ₁ x <i>E. guineensis</i>	6.25%
Segundo retrocruce (BC ₂)	6.25%
Sub población: BC ₂ F ₁	6.25%
Tercer retrocruce (BC ₃)	3.125%

Crecimiento vegetativo y producción de fruta

La primera generación del híbrido Amazon se caracterizó evaluando el comportamiento de 42 palmas sembradas en 1993 en Coto, Costa Rica. Los resultados se compararon con datos promedio de la variedad *guineensis* Deli x AVROS (Alvarado et al., 2010). El híbrido Amazon tenía hojas con una longitud promedio de 697 cm a los 14 años de edad; valor similar al de la variedad *guineensis* Deli x AVROS de la misma edad, por lo que puede ser sembrado a la densidad estándar de 143 palmas/ha (9 x 9 m). Esta característica es una clara ventaja sobre otros híbridos OxG, cuyas hojas superan los nueve metros de longitud. Otra característica destacable es que los peciolo de Amazon son más delgados que los de las variedades *guineensis* (sección transversal del peciolo

de 22.0 cm² vs. 26.7 cm²), lo cual facilita las labores de cosecha y poda (Cuadro 3).

Varietal	LHJ (cm)	PxS (cm ²)	AT (m)
Amazon	697	22.0	2.6
Deli x AVROS	704	26.7	6.9

LHJ: longitud foliar; PxS: sección transversal del peciolo; AT: altura del tronco

El potencial de producción de racimos (RFF) de los híbridos OxG es normalmente similar o superior al de variedades *guineensis* (Le Guen et al., 1991; Sterling et al., 1999). La primera generación de Amazon produjo en promedio 228 kg/palma/año (32.5 t/ha/año, fase adulta) sin polinización asistida; valor que superó al de la variedad Deli x AVROS, que produjo 175 kg/palma/año (24.9 t/ha/año, Cuadro 4). Se especula que la buena formación del racimo observada en esta parcela de Amazon se debió en parte al suplemento de polen proveniente de parcelas *guineensis* cercanas.

A pesar de las ventajas mencionadas, el contenido de aceite en la primera generación de Amazon era todavía bajo (18.5% en laboratorio, que equivale a una tasa de extracción industrial esperada de 16.1%, que fue muy inferior a 24.3% obtenido en la variedad *guineensis*). No obstante, en términos de potencial de producción por hectárea, el híbrido podría alcanzar 5.2 t de aceite/ha/año contra 6.2 de la variedad *guineensis* (Cuadro 4).

Varietal	RFF	PR	NR	FF/R	FP/R	F/R	M/F	A/MF	TEI	A/ha
OxG Amazon	227.5	18.5	12.3	42.2	15.5	57.7	67.2	43.0	16.1	5.2
Deli x AVROS	174.8	21.3	8.2	68.2	2.5	70.7	87.9	47.8	24.3	6.2

RFF: racimos de fruta fresca en kg/palma/año (fase adulta); PR: peso promedio del racimo kg; NR: número de racimos/palma/año; FF/R: frutos fértiles en el racimo %; FP/R: frutos partenocápicos en el racimo %; F/R: frutos en el racimo %; M/F: mesocarpio en el fruto %; A/MF: aceite en el mesocarpio en frutos fértiles %; TEI: aceite en el racimo x 0,855 (tasa de extracción industrial estimada); A/ha: aceite por hectárea (calculado usando la TEI)

Amazon: segunda generación

La variedad Amazon se empezó a comercializar en 2008, por lo que la información que se resume en esta sección comprende el inicio de la fase productiva. Durante su estado juvenil, el híbrido Amazon presenta una arquitectura normal (no es aplanado *-flat top-* ni erecto), su follaje es cerrado (poca penetración de luz hacia el centro de la planta), posee las hojas levemente

curvadas (no erectas) y los foliolos son cortos y erectos. El arreglo de los foliolos es plano, con bajo traslape entre ellos y el peciolo es de color verde oscuro. La razón de sexo es alta (75 a 100%), el porcentaje de inflorescencia femenina descubierta durante la antesis es de 10 a 50%, los racimos tienen forma de redondeado a normal (no alargado) y el 'fruit set' varía entre 35 y

54% en ausencia de polinización asistida (siempre que haya suficiente polen en el ambiente). Las espigas del racimo son cortas y gruesas, los frutos son medianos, normales (no redondeados) a alargados, de pigmentación externa semejante a los frutos tipo *virescens*, pero menos intensa.

En el mejoramiento genético de los híbridos OxG, la contribución de las palmas madres *oleifera* es vital, dado que su habilidad para combinar con varias fuentes de *pisiferas* permite seleccionar líneas con características superiores, en especial de alto contenido de aceite en el racimo. En la segunda generación de Amazon se usaron recombinantes F₁ de las *oleiferas* Manaos originales, cruzados con *pisiferas* compactas de las generaciones avanzadas del primero y segundo ciclo de retrocruzamiento, BC₁F₂ y BC₂F₁, respectivamente.

La actual población F₁ de *oleiferas* Manaos sembrada en 2003 (150 plantas), usadas para la producción de semilla comercial, proviene de la recombinación de 14 palmas seleccionadas de una población de 350 palmas de polinización abierta introducidas de Brasil en 1979. El contenido de aceite en el racimo fue mejorado de 5.5% en la población original a 9.0% en la F₁. En 2012 se sembró una población avanzada F₂ de 1,000 palmas, originada de 15 palmas superiores; con la cual se espera superar las características agronómicas observadas en la F₁.

Comportamiento en plantaciones comerciales jóvenes

ASD ha comercializado semillas de la segunda generación de Amazon desde el 2008, principalmente en Nicaragua, Costa Rica, Colombia, Ecuador, Brasil y Perú. Los lotes de mayor edad se encuentran en Tumaco, Colombia, por lo que las observaciones sobre el comportamiento comercial de Amazon que se describen seguidamente, provienen de plantaciones sembradas en esa localidad.

Las palmas jóvenes de Amazon iniciaron la producción de inflorescencias con un ciclo masculino de duración variable (3 a 12 meses), que tuvo relación con las diferencias observadas en el manejo agronómico de las lotes comerciales. Las inflorescencias femeninas

empezaron a observarse después de 18 meses en el campo. En general, menos de 10% de las palmas pasaron por un ciclo de androginia,³ el cual fue relativamente corto, de uno a dos meses. Por otra parte, solamente entre 2 y 5% de las palmas mostraron inflorescencias femeninas cubiertas totalmente por espigas durante la antesis, y esta condición fue observada frecuentemente en áreas donde las palmas tenían un pobre desarrollo vegetativo asociado a condiciones de suelo y manejo inadecuadas y a deficiencias nutricionales.

Los ciclos prolongados de androginia y la cobertura fibrosa excesiva (espigas) podrían estar asociados con el origen *guineensis* de la *pisifera*. En parcelas experimentales en Costa Rica, híbridos desarrollados al cruzar palmas *oleiferas* Taisha con padres Yangambi, Ekona y Ghana mostraron excesiva androginia, mientras que lo contrario ocurrió cuando la fuente de *pisiferas* fue de la población compacta.

Comportamiento ante las pudriciones del cogollo (PC)

Los criterios de evaluación de las pudriciones del cogollo no son uniformes en las distintas plantaciones comerciales y en algunos casos este desorden es confundido con la 'pudrición común de la flecha'. La incidencia de pudrición del cogollo (PC) en plantaciones comerciales del híbrido Amazon en Tumaco ha sido relativamente baja comparada con la del híbrido Coarí: 2.0-4.3% versus 2.8-16.7% y 0.1-0.3% versus 0.2-3.7% en dos plantaciones particulares estudiadas. El comportamiento promedio acumulado en todos los lotes de la mejor plantación se resume en la figura 1, la cual muestra un acumulado de 0.22% en Amazon contra 0.59% en Coarí.

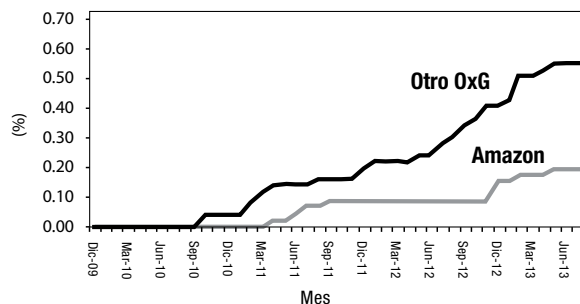


Fig. 1. Incidencia acumulada de PC en dos híbridos OxG: Coarí x La Mé y Amazon. Tumaco, Colombia

³Presencia (mezcla) de espigas masculinas en la inflorescencia femenina

Producción de fruta

En ciertas condiciones limitantes (baja fertilidad del suelo y pobre drenaje), el híbrido Amazon produjo entre 30 y 50 inflorescencias femeninas por hectárea por mes, entre los 24 y los 36 meses de edad. Con buen manejo y mejores condiciones de suelo, la producción de inflorescencias femeninas se incrementó a 100-200/ha (1.6 inflorescencias/palma/mes) entre los 30 y 42 meses. La polinización asistida fue iniciada en el mes 24 después de la siembra y la producción acumulada hasta los 46 meses de edad superó 15 t/ha (Fig. 2).

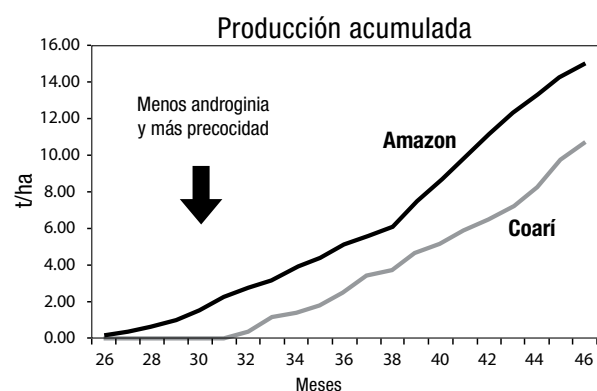


Fig. 2. Producción acumulada de racimos en dos híbridos O×G.

La mayor producción del Amazon comparada con la de otros híbridos en la región de Tumaco, se relaciona también con la mayor densidad de siembra: 128-143 plantas/ha versus 116 p/ha, y a un ciclo de androginia de menor duración; el cual aumenta el número de inflorescencias femeninas útiles desde los 24 meses de edad.

En general, los datos de cuatro plantaciones comerciales reflejan una variación importante en cuanto a la producción de racimos entre los 25 y 45 meses de edad, fluctuando entre 9 y 14 t/ha, pero con un rango entre lotes y plantaciones de 2.2 a 18.8 t/ha. Una alta precocidad, productividad elevada y mayor grado de tolerancia a la PC, son respuestas asociadas a factores agronómicos tales como cuidados durante la siembra, combate adecuado de malezas, aplicación de mayores cantidades de fertilizante, mejores condiciones de suelo y mejor manejo del drenaje (Cuadro 5).

Cuadro 5. Resumen de producción entre los 25 y 45 meses en cuatro plantaciones de Amazon, Tumaco, Colombia					
Producción t/ha					
Plantación	N° de Lotes	Rango	Promedio	Fertilización*	
Observaciones					
1	44	4.8 - 18.3	14.0	6.6	al menos 30% de los lotes se encuentran en áreas de colinas
2	5	6.7 - 18.1	13.9	4.5	algunos lotes marginales con problemas aparentes de fertilidad
3	15	2.2 - 18.7	8.9	0 a 20**	algunos lotes marginales con problemas de drenaje
4	4	4.8 - 18.8	11.1	4.5	suelos saturados de humedad y problemas de drenaje

* Kg/planta/año de fórmula completa en 2013, ** no se realizó fertilización durante el 2012 y el primer semestre de 2013

La curva de producción durante los primeros dos años (30 a 54 meses de edad) se muestra en el cuadro 6, comparada con el promedio esperado en variedades *guineensis*.

Cuadro 6. Producción del híbrido Amazon (t/ha), promedio de cuatro plantaciones (1080 ha) de Amazon, Tumaco, Colombia			
Periodo (meses)	Promedio	Rango	Lotes <i>E. guineensis</i>
< 30	1.7	0 a 2.1	3 a 5
30 a 42	7.9	4.5 a 9.5*	12 a 16
43 a 54	11.4	9.2 a 13.6	20 a 24

* En este ámbito de edad se registró de 8.7 a 11.4 t/ha en una plantación en Nicaragua, sin polinización asistida y con la aplicación de 8 kg de fertilizante por planta. En el mismo periodo, en una parcela experimental en Costa Rica, Amazon produjo el equivalente de 12.8 a 22.6 t/ha, con polinización natural y alta población de insectos polinizadores debido a la presencia de plantaciones *guineensis* en los alrededores; además de buen drenaje y buena nutrición.

Lluvia y producción de fruta

La época lluviosa en Tumaco ocurre durante el primer semestre. Desde finales del 2010 y durante el 2011 la cantidad de lluvia en la región fue bastante menor que el promedio histórico, lo cual se ha reflejado en una menor producción de racimos aproximadamente 24 meses después. De igual forma, en 2012 se presentó una alta precipitación seguida de una época seca muy intensa. Estas alteraciones en los patrones de lluvia provocaron variaciones continuas en los ciclos de producción de inflorescencias en Amazon, el cual a pesar de ser muy femenino, requiere un ambiente estable para alcanzar su máximo potencial (Figs. 3 y 4).

Adicionalmente, un manejo inadecuado de la fertilización o la siembra en suelos poco profundos donde el impacto de épocas secas muy marcadas es notable, pueden afectar negativamente la producción de racimos.

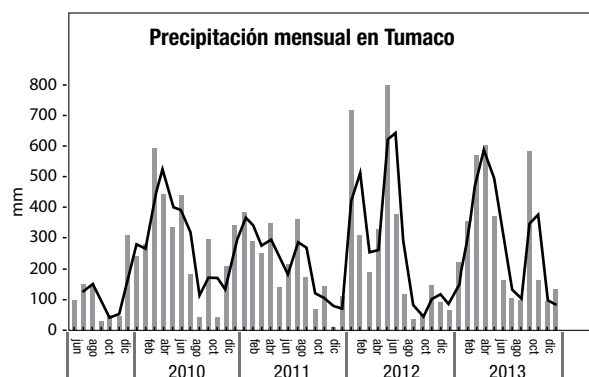


Fig. 3. Variación mensual de la precipitación pluvial en Tumaco, Colombia. Junio de 2009 a diciembre de 2013.

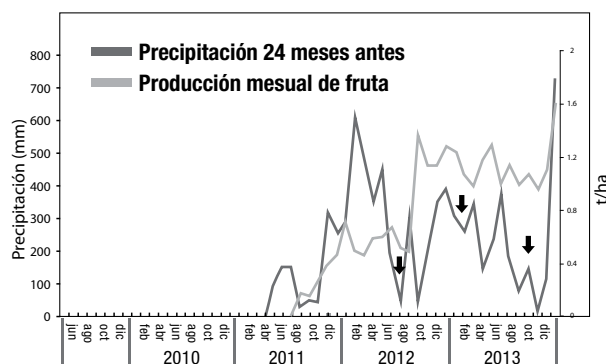


Fig. 4. Variación mensual de la producción de racimos en Amazon y relación con la precipitación 24 meses antes, Tumaco, Colombia.

Extracción de aceite

Las primeras cosechas en el híbrido Amazon en Tumaco se hicieron alrededor de los 23 a 24 meses de edad. En ese momento se inició también la polinización asistida; por lo que los racimos llevados a la planta extractora antes de los 29 meses recibieron polinización natural. La extracción de aceite industrial (TEI) en ese periodo varió de 14.8 a 17.9%. Con la práctica de polinización asistida y la mayor edad de la plantación, entre los 30 y 39 meses, la TEI alcanzó un valor promedio de 20% (Fig. 5).

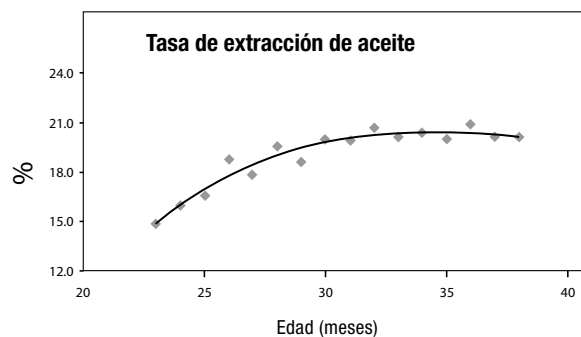


Fig. 5. Extracción industrial (%) del híbrido Amazon entre los 23 y 39 meses desde la siembra en el campo

Conclusiones

Las plantaciones jóvenes de Amazon muestran características comerciales superiores a otros híbridos OxG; las cuales hacen de este híbrido una alternativa comercial interesante: alta tolerancia a las pudriciones del cogollo, longitud foliar similar a las variedades *guineensis*, baja cobertura de las espigas en las inflorescencias femeninas en antesis y alto potencial de producción de racimos y de aceite. Estas características sobresalientes hacen que Amazon sea un híbrido diferente, ya que puede sembrarse a mayor densidad y con el potencial de ser polinizado naturalmente, si existe en la cercanía disponibilidad de polen y la presencia de insectos polinizadores.

Como toda variedad nueva, se está en la fase de determinar con mayor exactitud sus requerimientos nutricionales, con el fin de mejorar las recomendaciones de fertilización. También se está en búsqueda de las mejores variedades *guineensis* tolerantes a las

pudriciones del cogollo, de manera que sean fuentes de polen en las plantaciones del híbrido, y así evitar o reducir las necesidades de polinización asistida. Adicionalmente, se investiga la influencia del manejo agronómico sobre el grado de cobertura de las inflorescencias femeninas, y si la androginia está influenciada por efectos genéticos o ambientales.

Complementariamente se trabaja en la búsqueda de un mecanismo eficaz de atracción de insectos hacia las inflorescencias femeninas en antesis, con el propósito de aumentar el porcentaje de frutos en el racimo y, en consecuencia, el porcentaje total de aceite. Finalmente, ASD está evaluando y desarrollando nuevas poblaciones de madres Manaos y de progenitores masculinos compactos de generaciones avanzadas (BC₂F₂), lo cual permitirá aumentar la productividad de Amazon en el corto plazo.

Referencias

- Alvarado A., Escobar R., Peralta, F. 2010. El programa de mejoramiento genético de la palma aceitera de ASD de Costa Rica y su contribución a la industria. ASD Oil Palm Papers. 35:13-22.
- Alvarado, A., Escobar, R., Peralta, F., Chinchilla, C. 2006. Compact seeds and clones and their potential for high density planting. International Seminar on Yield Potential in The Oil Palm. International Society for Oil Palm Breeders (ISOPB), Phuket, Thailand, 27-28 November, 2006. 10 p.
- Barba J., Orellana F., Vallejo G., Manzano R. 2010a. Evaluación agronómica de híbridos interespecíficos de palma de aceite OxG (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) provenientes de diversos orígenes americanos y su tolerancia a la pudrición del cogollo. Primera parte. Palma (Ecuador). No. 3:11-15.
- Barba J., Orellana F., Vallejo G., Manzano R. 2010b. Evaluación agronómica de híbridos interespecíficos de palma de aceite OxG (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) provenientes de diversos orígenes americanos y su tolerancia a la pudrición del cogollo. Segunda parte. Palma (Ecuador). 4:2-5.
- Chinchilla C. 2010. Las pudriciones del cogollo en palma aceitera: la complejidad del desorden y una guía de convivencia. ASD Oil Palm Papers. No. Especial. 22 p.
- Escobar R. 1980. Preliminary results of the collection and evaluation of the American oil palm *Elaeis oleifera* (HBK, Cortes) in Costa Rica. In E. Pushparajah and P.S. Cheo (eds). Oil Palm Agriculture in the Eighties. Kuala Lumpur, Malaysia. 79-94 pp.
- Escobar R., Alvarado, A. 2004. Strategies in Production of Oil Palm Compact Seeds and Clones. ASD Oil Palm Papers. No. 27:13-26
- Franqueville, de H. 2003. Oil palm bud rot in Latin America. Experimental Agriculture. 39(3):225-240.
- Le Guen V., Amblard P., Omere A., Koutou A., Meunier, J. 1991. IRHO *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* interspecific hybrid programme. Oléagineux. 46(12):479-487.
- Mohd Din A., Rajanaidu N., Jalani B.S. 2000. Performance of *Elaeis oleifera* from Panama, Costa Rica, Colombia and Honduras in Malaysia. J. of Oil Palm Research. 12(1):71-80.
- Sterling F., Richardson, D.L., Chaves, C. 1987. Some phenotypic characteristics of the descendants of QB049, an exceptional hybrid of oil palm. Proceedings Oil Palm/Palm Oil Conference, Progress and Prospects. Palm Oil Research Institute of Malaysia. 135-146 pp.
- Sterling F., Richardson D.L., Alvarado A., Montoya C., Chaves C. 1999. Performance of OxG *E. oleifera* Central American and Colombian biotype x *E. guineensis* interspecific hybrids. In N. Rajanaidu and B.S. Jalani (eds). Proceedings of the Seminar on Worldwide Performance of DxP Oil Palm Planting Materials, Clones and Intespecific Hybrids. Palm Oil Research Institute of Malaysia. 114-127 pp.

Agronomic behavior of the Amazon hybrid

A. Alvarado¹, J. Henry

Abstract

The OxG Amazon hybrid (*E. oleifera* x *E. guineensis*) is an exclusive variety of ASD Costa Rica, whose development was begun in the 1990s. The second generation was commercially released in 2008, due to the demand for oil palm materials that were tolerant to 'spear rot' (or PC for 'pudriciones del cogollo' in Spanish) problems. Traits that Amazon shares with other hybrids are tolerance to these problems, high fruit production, slow increase in trunk height and high unsaturation of the oil. Nevertheless, it has other characteristics that make it superior to traditional hybrids, since it has shorter leaves, petioles with a thickness similar to '*guineensis*' (easier to harvest), and high precocity associated with a short androgynous flower cycle. Its initial fruit production is higher, even under free pollination conditions, when '*guineensis*' pollen exists in the environment.

As of 2013, nearly 6000 hectares of Amazon had been planted in several countries. PC incidence in the plantations with better agronomic management was below 1%. Moreover, the few palms affected responded rapidly to surgery of the affected tissue (100% recovery). Average production in several plantations in Colombia (Tumaco) reached 8 t/ha of fresh fruit in the first year (range: 4.5-9.5 t/ha) and 11.5 t in the second (9-13.5 t). Industrial oil extraction at the end of the second year was 20.5%. However, when agronomic management did not manage to reduce the negative impact of poor drainage, water deficit or low soil fertility, fruit production was lower and the degree of tolerance to PC was reduced. One of the strengths of Amazon is the scant presence of covering fibers (spathes) on the female inflorescences during anthesis and the strong fragrance of the flowers, which favors assisted pollination and the attraction and visitation of pollinating insects.

This article summarizes the historical behavior of the experimental plots for the first generation of Amazon planted in 1993 and the characteristics of the second commercial generation (first two years in the field).

¹ ASD Costa Rica, Apdo 30-1000, San José, Costa Rica, a.alvarado@asd-cr.com

OxG hybrids in Tropical America and spear rots (PC)

Spear rot (PC) has limited oil palm expansion in several regions of tropical America (Le Guen et al., 1991; Franqueville, 2001; Chinchilla, 2010). In addition to improving agricultural practices as a means of preventing or attenuating the effects of PC, the use of interspecific hybrids *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* (OxG) has been considered an essential element for the management of these disorders. However, the tolerance of the OxG hybrids to PC is not complete and distinct crosses of *oleifera* mothers from the Amazonia and Central American regions have shown variable degrees of PC incidence (0-81%), between the fifth and the tenth year of age in the field (Barba et al., 2010a).

Despite the tolerance of some OxG hybrids to PC, these are still not considered a fully satisfactory alternative to the use of *guineensis* varieties, mainly due to their lower oil extraction rate, vigorous growth and deficient natural pollination. This article summarizes the characteristics of a new OxG hybrid that is considered exceptional, selected from a group of crosses between *oleifera* mother palms native to Manaus, Brazil, combined with *pisiferas* of compact compound varieties², which also possess *oleifera* genes (6-12%). This combination was called Amazon and it has very favorable characteristics in comparison with other hybrids, such as the short leaves, similar to *guineensis*, the least coverage (by spathes) of the female inflorescences in anthesis and the self-compatibility of its pollen. In the rest of this document, traditional hybrids (50% *oleifera* genes and 50% *guineensis* genes) will simply be called 'OxG hybrids', in contrast with the new hybrid (the subject of this article) that will be called Amazon and contains a larger load of *oleifera* genes.

Initial evaluation of *E. oleifera* germplasm and the origins of amazon

During the period 1967 to 1970, ASD established a collection of *Elaeis oleifera* with 326 accessions from different regions of Costa Rica, Panama and Colombia.

In some regions of Colombia and Ecuador, where the planting of traditional oil palm varieties (*E. guineensis*) is limited by the presence of the complex of spear rots, the use of OxG hybrid varieties has been intensified. Between 40,000 and 50,000 hectares have been planted with hybrids (of these, 20,000 in Colombia and 20,000 in Ecuador). Amazon occupies some 6800 hectares, mainly in Colombia, Ecuador and Brazil (Table 1). Most of the plantations of OxG hybrids are planted at a density of 116 palms/ha (10 x 10 m), but due to its shorter leaves, the Amazon hybrid was established at 128 or 143 palms/ha (9.5 m and 9.0 m in triangle, respectively).

Table 1. Estimated area planted with Amazon (ha) according to sales of seed by ASD de Costa Rica from 2008 to 2013

Country	Area planted (ha)
Colombia	3,143
Ecuador	1,337
Brazil	1,167
Nicaragua	618
Costa Rica	433
Other	137
Total	6,835

Most of the plantations with OxG hybrids in South America were developed using *oleifera* palms from Brazil and Ecuador. These are named Coarí (the one used most frequently), Manicoré, Tefé, Manaus and Taisha (Ecuador) according to their origin. The main difference between the OxG hybrids is the source of the pollen used, for example, La Mé fathers are used for Coarí and Manicoré hybrids, Taisha origin hybrids use the AVROS line as the male progenitor; and in the case of Amazon, *oleifera* mothers of Manaus origin are used with a pollen source from a population that is exclusive to ASD.

Most of these materials had low oil content in the bunch (4.3-7.5%) (Escobar, 1980), which was later corroborated by Mohd Din et al. (2000).

²Varieties with genomes consisting of genes from *E. guineensis* and *E. oleifera* to variable extents

Improvement work with *oleifera* germplasm at ASD began in 1978, with the establishment of progeny trials that evaluated 236 combinations of OxG hybrids: 105 *oleifera* palms from 13 regions of Central America and Colombia. Six *guineensis* origins (AVROS, Ekona, Ulu Remis, Yangambi, WAIFOR and a Deli-Yangambi mix) were used as pollen sources. Great variation was found in fruit production (46-216 kg/palm/year) and in bunch oil content, which varied from 13 to 21%. Growth over nine years was more vigorous in OxG hybrids when compared to the *guineensis* control (Deli x AVROS), since leaf length varied from 7.7 to 8.5 m long in the hybrid and 6.9 m in the control (Sterling et al. 1999).

In Ecuador, Barba et al. (2010b) studied OxG hybrids from different maternal origins and found that the origin Manicoré (Brazil) transmitted the best bunch oil content (23.4%), while the highest bunch production was obtained with *oleifera* hybrids from Armuelles (Panama). The best oil content was obtained using AVROS as a pollen source, but these investigators did not have other sources from which to choose. The authors recommended not establishing plantations of

hybrids at densities higher than 128 palms/ha, due to the vigorous growth seen in the progenies evaluated.

A group of 36 hybrids from different groups of *oleiferas* (869 palms) were planted by ASD in 1993 on the northern Atlantic of Panama, to evaluate tolerance to spear rots. The origin of the *oleiferas* was Surinam, Manaos-Brazil (both from new introductions done by ASD in 1979), Penonomé-Panama, Quepos/Palmar mix - Costa Rica, Palmar/ unknown pollen mix and Palmar, which were crossed with AVROS, Ghana, La Mé and Ekona *guineensis pisiferas*. The progenies showed 1.4% PC cases, compared with the Deli x AVROS control that reached an incidence of 17.7% during the three years of evaluation.

Based on this preliminary experience, two *oleiferas* from the Manaos region (Brazil) were selected for showing the highest tolerance (one had no cases). These outstanding palms were crossed with compact compound *pisiferas* from the first backcrossed generation and their progeny, characterized by having short leaves, high fruit production and high tolerance to spear rots, as described below.

Amazon: first generation

Traditionally, ASD's oil palm breeding program concentrated on the use of *guineensis* germplasm; and the OxG hybrids were not a priority, due to its lower attractiveness from a commercial point of view. Nevertheless, and in order to address market demand for OxG hybrid seeds in zones affected by spear rots, ASD released the new Amazon hybrid. It is generally accepted that the tolerance of the hybrids to PC is an outcome of the genes inherited from the species *E. oleifera*; therefore, it is expected that the Amazon hybrid has high tolerance due to a higher concentration of *oleifera* genes (more than 50%).

The compact trait was fixed after three backcrossing cycles on a palm with exceptional characteristics such as short leaves and slow trunk growth rate, known as the

original compact palm (OCP). This palm had poor bunch composition and low oil production. More than 35 years of field experiments were needed to fix the compact trait (Sterling et al., 1987; Escobar y Alvarado, 2004; Alvarado et al., 2006).

The OCP had an estimated 25% of *oleifera* genes in its genome. To increase its production potential, several sources of improved *guineensis* were used in the backcrossing cycles. This process generated different recombinant populations, mixing *oleifera* and *guineensis* genes in diverse proportions (Escobar and Alvarado 2004). The first generation Amazon hybrid has 56.25% *oleifera* genes: 50% from the mother palm and 6.25% from the compact father from the first backcrossing cycle (BC₁, Table 2). The rest of the genes (43.75%) are of *guineensis* origin.

Table 2. Concentration (theoretical percent) of <i>E. oleifera</i> genes in several compact populations	
Population	Genes <i>E. oleifera</i>
OxG Hybrid (open pollination)	50%
Original compact palm (OCP)	25%
First backcross (BC ₁)	12.5%
Sub population: BC ₁ F ₁	12.5%
Sub population: BC ₁ F ₂	12.5%
Sub population: BC ₁ F ₁ x <i>E. guineensis</i>	6.25%
Second backcross (BC ₂)	6.25%
Sub population: BC ₂ F ₁	6.25%
Third backcross (BC ₃)	3.125%

Vegetative growth and fruit production

The first Amazon hybrid generation was characterized evaluating the behavior of 42 palms planted in 1993 in Coto, Costa Rica. These results were compared with average data for the Deli x AVROS *guineensis* variety (Alvarado et al., 2010). The Amazon hybrid showed leaves with an average length of 697 cm at 14 years of age, similar to the Deli x AVROS *guineensis* variety of the same age, which could be planted at a standard density of 143 palms/ha (9 x 9 m). This characteristic had a clear advantage over other OxG hybrids, whose leaves exceeded nine meters in length. Another outstanding characteristic was the thinner petioles than in *guineensis* (cross-section of the petiole of 22.0 cm² vs. 26.7 cm²), which eventually would facilitate the tasks of harvesting and pruning (Table 3).

Table 3. Vegetative characteristics of the Amazon hybrid first generation			
Variety	LL (cm)	PxS (cm ²)	TH (m)
Amazon	697	22.0	2.6
Deli x AVROS	704	26.7	6.9

LL: leaf length; PxS: petiole cross-section; TH: trunk height

The fresh fruit bunch (FFB) production potential of the OxG hybrids is normally similar or superior to the *guineensis* varieties (Le Guen et al., 1991; Sterling et al., 1999). The first generation of Amazon produced on average 228 kg/palm/year (32.5 t/ha/year, adult phase) without assisted pollination; which was superior to the Deli x AVROS variety, which produced 175 kg/palm/year (24.9 t/ha/year, Table 4). It is speculated that good bunch formation in this plot of Amazon was due in part to the pollen supplement from *guineensis* plots nearby.

Despite the advantages mentioned, oil content was still low in the first generation of Amazon (18.5% of oil in the bunch in the laboratory, equivalent to an expected industrial extraction rate of 16.1%, lower than the *guineensis* variety at 24.3%). However, in terms of production potential per hectare, the hybrid could achieve 5.2 t of oil/ha/year against 6.2 in *guineensis* (Table 4).

Table 4. Bunch composition and production potential for the first generation of the Amazon OxG hybrid, Coto, Costa Rica (average of 42 palms)										
Variety	FFB	BW	NB	FF/B	PF/B	F/B	M/F	O/MF	IER	O/ha
OxG Amazon	227.5	18.5	12.3	42.2	15.5	57.7	67.2	43.0	16.1	5.2
Deli x AVROS	174.8	21.3	8.2	68.2	2.5	70.7	87.9	47.8	24.3	6.2

FFB: Fresh fruit bunches in kg/palm/year (adult phase); BW: average bunch weight kg; NB: number of bunches/palm/year; FF/R: fertile fruits in the bunch %; PF/B: parthenocarpic fruits in the bunch %; F/B: fruits in the bunch %; M/F: mesocarp in the fruit %; O/MF: oil in the mesocarp in fertile fruits %; IER: oil in the bunch x 0.855 (estimated industrial extraction rate); A/ha: oil per hectare (calculated using the IER).

Amazon: second generation

Commercialization of the Amazon variety began in 2008 and the data that are summarized in this section comprise the start of the productive phase. The Amazon hybrid, during its juvenile stage, has a normal architecture (not flat-topped or erect), its foliage is 'closed' (little light penetration toward the center of the plant), it has slightly curved leaves (not erect) and short,

erect leaflets. The arrangement of the leaflets is flat, with little overlapping between them, the petiole is dark green in color. The sex ratio is high (75 to 100%). The percentage of the female inflorescence uncovered during anthesis is 10 to 50%, bunch shape is rounded to normal (not elongated), 'fruit set' varies between 35 and 54% in the absence of assisted pollination (as long as

there is sufficient pollen in the environment). The spines of the bunch are short and thick, the fruits are medium, normal (not rounded) to elongate, with external pigmentation resembling *virescens*-type fruitless, but less intense.

In the genetic improvement of the OxG hybrids, the contribution of the *oleifera* mother palms is vital, given that their ability to combine with several sources of *pisiferas* allows selecting lines with superior traits, especially high oil content. In the second Amazon generation, recombinant F₁ from the original Manaus *oleiferas* was used, crossed with compact *pisiferas* from the advanced generations of the first and second cycles of backcrossing, BC₁F₂ and BC₂F₁, respectively.

The current population F₁ of Manaus *oleiferas* planted in 2003 (150 plants), used for commercial seed production, comes from the recombination of 14 palms selected from a population of 350 palms of open pollination introduced from Brazil in 1979. The oil content in the bunch was improved 5.5% in the original population to 9.0% in the F₁. In 2012, an advanced F₂ population of 1,000 palms was planted, originating from 15 superior palms, with the objective to improve the agronomic traits observed in the F₁.

Behavior in young commercial plantations

ASD has commercialized seeds from the second generation of Amazon since 2008, mainly in Nicaragua, Costa Rica, Colombia, Brazil and Peru. The oldest plots are found in Tumaco, Colombia, and the observations regarding the commercial behavior of Amazon that are described below come from plantations planted at this locality.

The young Amazon palms began the production of inflorescences with a male cycle of variable duration of 3 to 12 months, which was related to the differences observed in the agronomic management of the commercial plots. Female inflorescences started to appear after 18 months in the field. In general, less than

10% of the palms passed through a cycle of androgyny, which was relatively short, from one to two months. Furthermore, only 2-5% of the palms showed female inflorescences completely covered by spathes during anthesis and this condition was frequently observed in areas where the palms had poor vegetative development associated with poor soil conditions, improper management and nutritional deficiencies.

Prolonged cycles of androgyny and excessive fibrous cover (spathes) could be associated with the *guineensis* origin of the *pisifera*. In experimental plots in Costa Rica, hybrids developed by crossing Taisha *oleifera* palms with Yangambi, Ekona and Ghana fathers showed excessive androgyny, whereas the opposite occurred when the sources of *pisiferas* were palms from the compact population.

Spear rot (PC) incidence and severity

Evaluation criteria for spear rots are not uniform among different commercial plantations and in some cases this disorder and 'common spear rot' are considered the same. Anyhow, spear rot (PC) incidence in commercial plantations of the Amazon hybrid in Tumaco has been relatively low compared to the Coarí hybrid: 2.0-4.3% versus 2.8-16.7% and 0.1-0.3% versus 0.2-3.7% in two plantations. The average accumulated incidence in all the plots of the best plantation are summarized in figure 1, which shows an accumulation of 0.22% in Amazon versus 0.59% in Coarí.

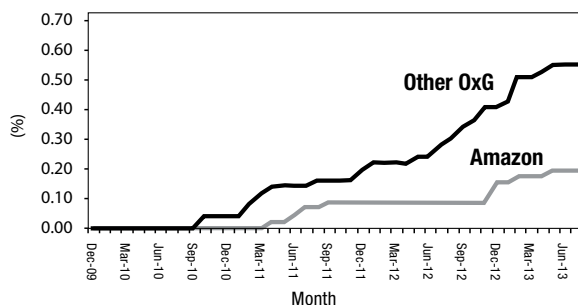


Fig. 1. Accumulated PC incidence in two OxG hybrids: Coarí x La Mé and Amazon. Tumaco, Colombia

³ Presence (mix) of male spikes on the female inflorescence

Yield

Under agronomic management conditions with certain limitations (low soil fertility and poor drainage), the Amazon hybrid produced 30-50 female inflorescences per hectare per month, between 24 and 36 months of age. With good management and better soil conditions, female inflorescence production increased to 100-200/ha (1.6 inflorescences/palm/month) between 30 and 42 months. Assisted pollination was begun in month 24 after planting and accumulated production to 46 months of age exceeded 15 t/ha (Fig. 2).

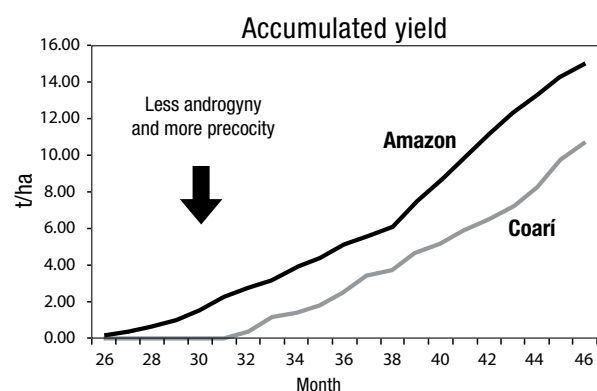


Fig. 2. Accumulated bunch production in two OXG hybrids.

The best early production of Amazon compared with other hybrids in the Tumaco region is also related to the higher planting density: 128 to 143 plants/ha versus 116 plants/ha and a shorter duration androgyny cycle, which increases the number of normal female inflorescences from 24 months of age.

Bunch yield from four commercial plantations -between 25 and 45 months of age- varied between 9 and 14 t/ha, with a range between plots and plantations of 2.2 to 18.8 t/ha. Higher precocity, productivity and tolerance to PC were associated with better agronomic management (care during planting, proper weed control, application of larger amounts of fertilizer, better soil conditions and better drainage management) (Table 5).

Table 5. Summary of production between 25 and 45 months in four Amazon plantations, Tumaco, Colombia					
Bunch yield (t/ha)					
Plantation	Plots	Range	Average	Fertilization*	Observation
2	5	6.7 - 18.1	13.9	4.5	Some marginal plots with obvious fertility problems
3	15	2.2 - 18.7	8.9	0a20**	Some marginal plots with drainage problems
4	4	4.8 - 18.8	11.1	4.5	High soil saturation due to excess water and drainage problems

* Kg/plant/year of a complete formula in 2013, ** fertilization was not done during 2012 and the first semester of 2013

The production data during the first two years (30 to 54 months of age) is shown in Table 6, compared with the average behavior expected in *guineensis* varieties.

Table 6. Production of the Amazon hybrid (t/ha): average of four plantations (1080 ha), Tumaco, Colombia			
Period (months)	Average	Range	Plots <i>E. guineensis</i>
< 30	1.7	0 to 2.1	3 to 5
30 to 42	7.9	4.5 to 9.5*	12 to 16
43 to 54	11.4	9.2 to 13.6	20 to 24

* In this age range of age, 8.7 to 11.4 t/ha were recorded for one plantation in Nicaragua, without assisted pollination and with the application of 8 kg of fertilizer per plant. In the same period, in an experimental plot in Costa Rica, Amazon produced the equivalent of 12.8 to 22.6 t/ha, with natural pollination and a high population of pollinating insects due to the presence of *guineensis* plantations in the vicinity, as well as good drainage and good nutrition.

Rainfall and fruit production

The rainy season in Tumaco occurs during the first half of the year. In late 2010 and during 2011, the amount of rainfall in the region was lower than the historic average, which was reflected in lower bunch production approximately 24 months later. Likewise, in 2012 there was high precipitation followed by a very intense dry season. These alterations in rainfall patterns provoked continuous variations in inflorescence production cycles in Amazon, which despite being largely female, require a stable environment to achieve their maximum potential (Figs. 3 and 4).

In addition, improper management of fertilization or planting in shallow soils where the impact of very pronounced dry seasons is more obvious can negatively affect bunch production.

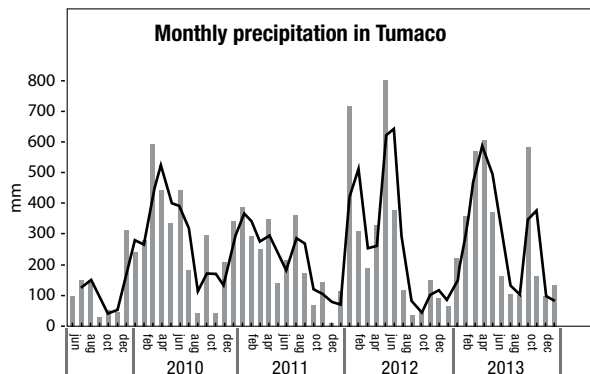


Fig. 3. Monthly variation in precipitation at Tumaco, Colombia. June 2009 to December 2013.

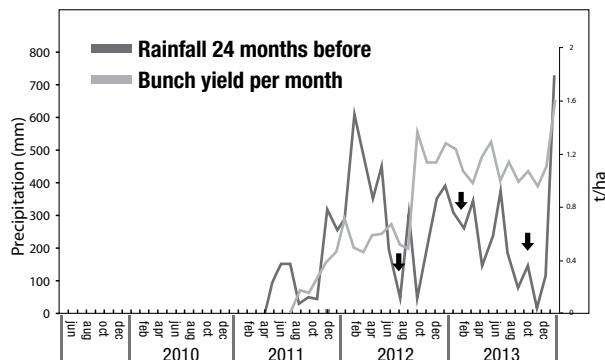


Fig. 4. Monthly variation in bunch production for Amazon and relationship with precipitation 24 months earlier, Tumaco, Colombia.

Oil extraction

Harvesting in Tumaco started when palms were 23 to 24 months of age. At that time, assisted pollination was also begun, therefore the bunches taken to the extraction plant before 29 months of age were the product of natural pollination. Industrial oil extraction (IER) in that period varied from 14.8 to 17.9%. With the assisted pollination practice and the greater age of the plantation, between 30 and 39 months, IER reached an average value of 20% (Fig. 5).

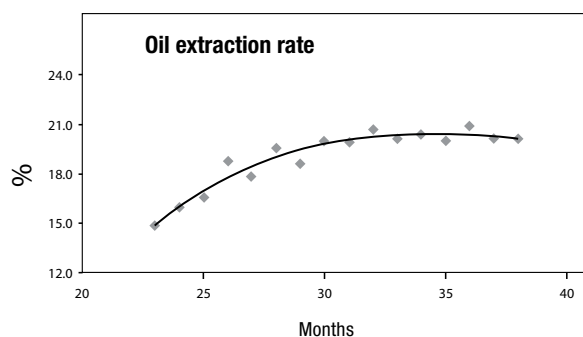


Fig. 5. Industrial oil extraction rate (%) from the Amazon hybrid between 23 and 39 months of age.

Conclusions

Young Amazon plantations show superior commercial characteristics, which make this OxG hybrid an interesting commercial alternative: high tolerance to spear rots, leaf length similar to that of *guineensis* varieties, little spathe coverage on female inflorescences during anthesis and high bunch and oil production potential. These outstanding characteristics make Amazon ‘a different kind’ of hybrid, since it can be planted at higher density and it has the potential to be pollinated naturally, if pollen is available in the vicinity and pollinating insects are present.

Like any new variety, it is now in the phase of determining its nutritional requirements more precisely in order to improve the recommendations for fertilization. New *guineensis* varieties with tolerant to spear rots are also being sought to serve as pollen

sources in plantations of the hybrid, in order to avoid or reduce the need for assisted pollination. In addition, the influence of agronomic management on the degree of coverage of the female inflorescences and whether androgyny is influenced by genetic or environmental effects are also being investigated.

Complementarily, work is being done to find an effective mechanism for attracting insects to the female inflorescences in anthesis, for the purpose of increasing the percentage of fruits in the bunch and therefore, the total percentage of oil. Finally, ASD is evaluating and developing new populations of Manaus mothers and compact male progenitors from advanced generations (BC₂F₂), to help increase the productivity of Amazon in the short term.

Literature cited

- Alvarado A., Escobar R., Peralta, F. 2010. El programa de mejoramiento genético de la palma aceitera de ASD de Costa Rica y su contribución a la industria. ASD Oil Palm Papers. 35:13-22.
- Alvarado, A., Escobar, R., Peralta, F., Chinchilla, C. 2006. Compact seeds and clones and their potential for high density planting. International Seminar on Yield Potential in The Oil Palm. International Society for Oil Palm Breeders (ISOPB), Phuket, Thailand, 27-28 November, 2006. 10 p.
- Barba J., Orellana F., Vallejo G., Manzano R. 2010a. Evaluación agronómica de híbridos interespecíficos de palma de aceite OxG (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) provenientes de diversos orígenes americanos y su tolerancia a la pudrición del cogollo. Primera parte. Palma (Ecuador). No. 3:11-15.
- Barba J., Orellana F., Vallejo G., Manzano R. 2010b. Evaluación agronómica de híbridos interespecíficos de palma de aceite OxG (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) provenientes de diversos orígenes americanos y su tolerancia a la pudrición del cogollo. Segunda parte. Palma (Ecuador). 4:2-5.
- Chinchilla C. 2010. Las pudriciones del cogollo en palma aceitera: la complejidad del desorden y una guía de convivencia. ASD Oil Palm Papers. No. Especial. 22 p.
- Escobar R. 1980. Preliminary results of the collection and evaluation of the American oil palm *Elaeis oleifera* (HBK, Cortes) in Costa Rica. In E. Pushparajah and P.S. Cheo (eds). Oil Palm Agriculture in the Eighties. Kuala Lumpur, Malaysia. 79-94 pp.
- Escobar R., Alvarado, A. 2004. Strategies in Production of Oil Palm Compact Seeds and Clones. ASD Oil Palm Papers. No. 27:13-26
- Franqueville, de H. 2003. Oil palm bud rot in Latin America. Experimental Agriculture. 39(3):225-240.
- Le Guen V., Amblard P., Omere A., Koutou A., Meunier, J. 1991. IRHO *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* interspecific hybrid programme. Oléagineux. 46(12):479-487.
- Mohd Din A., Rajanaidu N., Jalani B.S. 2000. Performance of *Elaeis oleifera* from Panama, Costa Rica, Colombia and Honduras in Malaysia. J. of Oil Palm Research. 12(1):71-80.
- Sterling F., Richardson, D.L., Chaves, C. 1987. Some phenotypic characteristics of the descendants of QB049, an exceptional hybrid of oil palm. Proceedings Oil Palm/Palm Oil Conference, Progress and Prospects. Palm Oil Research Institute of Malaysia. 135-146 pp.
- Sterling F., Richardson D.L., Alvarado A., Montoya C., Chaves C. 1999. Performance of OxG *E. oleifera* Central American and Colombian biotype x *E. guineensis* interspecific hybrids. In N. Rajanaidu and B.S. Jalani (eds). Proceedings of the Seminar on Worldwide Performance of DxP Oil Palm Planting Materials, Clones and Intespecific Hybrids. Palm Oil Research Institute of Malaysia. 114-127 pp.

Seguimiento morfo-fisiológico de palmas aceiteras (*Elaeis guineensis* Jacq.) afectadas por pudriciones del cogollo (PC)

Joaquín Torres¹, Marco Gutiérrez², Carlos Chinchilla³

Resumen

Se caracterizó la morfología, el crecimiento y la fisiología de palmas aceiteras (*Elaeis guineensis* Jacq., variedad Deli x Nigeria) en diferentes estados de desarrollo de la condición conocida como 'flecha seca' (FS), y se identificaron algunos indicadores morfo-fisiológicos asociados a la predisposición al trastorno. La 'FS' en Costa Rica es muy similar en sintomatología a la llamada 'pudrición del cogollo o PC, tal como se describe en Sur América. La 'PC' es un trastorno dinámico de etiología compleja que afecta el desarrollo y la fisiología de las palmas. La sintomatología ('amarillamiento', secamiento y pudriciones) se presenta en las hojas jóvenes y en los tejidos cercanos al meristemo. Los síntomas aéreos se asocian con un sistema radical fino deteriorado.

Durante los estados iniciales del trastorno en la estación de menor precipitación (3,8-73 mm/mes), las palmas presentaron bajo potencial hídrico en las hojas, aumentos de la conductancia estomática, disminución en la temperatura del follaje, mayor contenido de clorofila y reducción del desarrollo vegetativo. La pérdida del sistema radical fino posiblemente fue la causa de la interrupción de las 'señales' hormonales hacia la parte aérea; lo cual causó la pérdida del control estomático de la transpiración que condujo a un desequilibrio hídrico, nutricional y energético.

El comportamiento anómalo de la conductancia estomática y de otras variables (densidad de raíces y la sección transversal del peciolo), descrito en otro artículo (esta revista) es un indicador que podría señalar condiciones de predisposición a un síndrome como la PC.

Introducción

El trastorno conocido localmente como 'flecha seca', que se considera similar en sus causas y efectos a la llamada 'pudrición del cogollo' o 'PC' en Suramérica (Franqueville 2001; Chinchilla 2010; Corley y Tinker 2003), ha afectado varias plantaciones en Costa Rica; las cuales se han recuperado, no sin antes sufrir pérdidas de productividad, según la incidencia y severidad del trastorno.

La etiología de la PC es compleja y los intentos por asociarla a un único agente patogénico no han dado resultados concluyentes y tampoco han contribuido al manejo del problema. En algunas regiones de Sur América, como Tumaco, Colombia, la presencia de la PC

asociada con problemas de baja productividad ha causado incluso el abandono de plantaciones.

En general, los síntomas aéreos de la PC incluyen la aparición de una coloración amarilla (clorosis) en las secciones basales de algunas de las hojas más jóvenes y pudriciones y/o secamientos de las hojas flecha (hojas sin abrir) (Chinchilla 2010). Invariablemente, estos síntomas aéreos se asocian a un deterioro del sistema radical fino de la planta (Albertazzi et al. 2005). El deterioro de las plantas puede ser muy grande y la producción de racimos de fruta se detiene. No obstante, es posible recuperar la mayoría de las plantas, cuyo

Palabras clave: PC, estrés, crecimiento, fotosíntesis

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

² EEFB, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Univ. de Costa Rica, surdo26@racsa.co.cr

³ Consultor para ASD, cmlchinchilla@gmail.com

periodo de recuperación está asociado con el grado en que sea posible mejorar las condiciones de aeración del suelo y la salud del sistema radical (Chinchilla y Durán 1998). No obstante, algunas palmas afectadas pueden llegar a morir aparentemente por inanición (incapacidad de recobrar su sistema radical) y también porque son atacadas por plagas como el picudo (*Rhynchophorus palmarum*), taladradores de la raíz como *Sagalassa valida* (en Sur América) y/o patógenos oportunistas (endófitos o externos).

La variación en la sintomatología, las posibles causas, los agentes patogénicos (o no) asociados a plantas afectadas por diferentes tipos de pudriciones que abarcan los tejidos jóvenes y las estrategias de manejo disponible han sido descritas por varios investigadores (Chinchilla 1998, 2008, 2010,

Franqueville 2001, Laing 2009, Turner 1981, Akino y Kondo 2012).

Los diferentes factores de estrés que inducen susceptibilidad a plagas y enfermedades de las plantas en los trópicos han sido bien documentados (Henson et al. 2005, Ayres 1974, Yarwood 1976). Entre estos factores de estrés se destacan la baja disponibilidad de luz, las condiciones de hipoxia en el suelo, el déficit hídrico, las altas temperaturas y las deficiencias de carbohidratos no estructurales.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar la morfología, el crecimiento y la fisiología de palmas aceiteras en diferentes etapas del desarrollo del síndrome de la 'flecha seca' en Costa Rica para intentar identificar indicadores de predisposición al trastorno.

Materiales y métodos

Localización del estudio y material vegetal

El estudio se realizó en plantaciones de palma aceitera en el Pacífico sur de Costa Rica, a una elevación entre 24 y 30 msnm. El clima de la región es muy húmedo, con menos de tres meses de baja precipitación. La precipitación promedio anual oscila entre 3800 y 4500 mm y las mayores precipitaciones ocurren entre los meses de marzo y noviembre; con registros de 800 mm mensuales o más durante algunos meses (julio y noviembre). En estas condiciones el régimen de humedad del suelo es *útrico*.

Las evaluaciones se realizaron entre abril de 2011 y agosto de 2012; pero existía información anterior de las variables climáticas de la zona, sus suelos y mediciones morfo-fisiológicas de las plantas. Durante el periodo de evaluación hubo dos estaciones con alta precipitación pluvial (> 374 mm/mes); la primera entre mayo y diciembre de 2011 y la segunda entre abril y diciembre de 2012. Entre enero y marzo del 2012 se registró un periodo relativamente seco (3,8 mm - 73 mm/mes).

En el estudio se utilizaron palmas de la variedad comercial Deli x Nigeria (*Elaeis guineensis*), agrupadas en

tres categorías: sanas, con síntomas iniciales de PC y recuperadas del trastorno (Cuadro 1). Cada categoría se encontraba en lotes separados al inicio de las evaluaciones. Adicionalmente, y como referencia, se realizaron evaluaciones en palmas de dos años en el campo del híbrido Amazon (*E. oleifera* x *E. guineensis*), considerado tolerante al trastorno.

Cuadro 1. Categorías de palmas según su reacción a la PC al inicio de la caracterización morfo-fisiológica del trastorno		
Parcela	Material genético	Descripción general de las palmas al inicio de las observaciones
Palmas con síntomas iniciales de PC	Deli x Nigeria Seis años en el campo	-Síntomas iniciales que incluían foliolos cloróticos o con secamientos limitados, acumulación de hojas flecha, las cuales eran más cortas. Valor de PxS menor de lo normal en hojas jóvenes
Palmas inicialmente sanas (primeros casos en esta parcela aparecieron 11 meses después)	Deli x Nigeria Cinco años en el campo	-Ausencia de síntomas asociados a la PC -Ausencia de cambios drásticos en el tamaño de las hojas o del PxS
Palmas en la fase de recuperación de síntomas	Deli x Nigeria Cinco años en el campo	-Recuperadas del trastorno después de cirugía de las hojas flechas dañadas. -Valores de PxS normales en hojas de mayor edad -Al menos 8 hojas expandidas sanas
Híbrido OxB tolerante	Amazon Dos años en el campo	-Sin síntomas. La información de este híbrido se incluye solo como referencia; pero muchos datos no son comparables por la diferencia de edad con las palmas en las otras categorías evaluadas

Variables fisiológicas

Las evaluaciones fisiológicas fueron realizadas en folíolos basales, mediales y distales de las hojas No. 1 y 17 de cinco plantas en cada categoría (Cuadro 1). Se efectuaron tres rondas de una semana de duración cada una, durante los meses de mayo y julio de 2011 (precipitación promedio: 494 mm/mes) y marzo y mayo de 2012 (precipitación promedio: 198 mm/mes). Las mediciones se repitieron durante la mañana y la tarde.

El potencial hídrico de las hojas (MPa) se determinó con una cámara de presión de Scholander (Mod. PMS 1000, plant moisture stress, Oregon) entre las 5:00 y 6:00 am y 11:00 am y 1:00 pm. La conductancia estomática ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y la transpiración ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) se midieron utilizando un autoporómetro (Li-Cor 1600); equipado con un sensor de radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$), para caracterizar el microambiente lumínico. Las mediciones se efectuaron entre las 8:00 y 10:00 am y 11:00 am y 1:00 pm.

La fluorescencia (F_v/F_m) se midió con un *fluorómetro* (Mod. OS-30p, Opti-Sciences) entre las 8:00 y 10:00 am, en condiciones de luz real, sin exponer la hoja a la oscuridad antes de la medición. El índice F_v/F_m es un indicador de estrés cuando este se desvía significativamente bajo valores de 0,7-0,8. El índice del contenido de clorofila, el cual es un indicador cuantitativo del color de las hojas, fue medido con un sensor SPAD (Mod. Minolta 502), entre las 8:00 y 10:00 am, siguiendo los protocolos indicados.

El contenido relativo de agua (CRA, %) y el peso foliar específico (g/cm^2) se determinaron únicamente en

diciembre de 2011 (finales de la época de lluvias: 362 mm). Para tal efecto se utilizaron 30 discos de 7 mm de diámetro de folíolos basales, mediales y distales de hojas No. 1 y 17 recolectados entre las 10:00 y 11:00 am en las cuatro categorías de plantas.

El peso foliar específico, que es un indicador de la calidad de las hojas, representa la inversión de materia seca por unidad de superficie y permite diagnosticar la aclimatación a la luz o al régimen hídrico. Se calcula como el cociente entre el área y el peso seco de los discos foliares utilizados en las mediciones del contenido relativo de agua (Gutiérrez y Villalobos 1996). $\text{CRA} = (\text{PF} - \text{PS})/(\text{PSAT} - \text{PS}) \times 100$, donde CRA es el contenido relativo de agua, PF es el peso fresco, PSAT es el peso fresco a saturación, y PS es el peso seco de la muestra.

El cambio en la severidad de la PC fue evaluado en 1295 palmas (entre marzo y octubre de 2011, enero y julio de 2012 y enero de 2013) utilizando una escala entre 0 y 5, donde 0: palma sana; 1: palma con folíolos de hojas jóvenes con clorosis y con frecuencia acumulación de hojas flecha; 2: palma con clorosis y necrosis en hojas jóvenes y acumulación de flechas; 3: palma con pudriciones y secamientos en el paquete de flechas (cogollo) y necrosis y clorosis en hojas jóvenes; 4: palma con síntomas muy severos con secamientos y clorosis generalizados en hojas jóvenes.

Para la interpretación de los datos se realizó un análisis de varianza (Info Stat, $P > 0,05$) y la comparación múltiple de todos los pares de medias fue realizada utilizando la prueba de DGC. Los resultados son las medias de 360 evaluaciones para cada número de hoja, en cada estación.

Resultados y discusión

Características geográficas y climáticas

Las cuatro categorías de palmas evaluadas (Cuadro 1) se encontraban dentro de la unidad geomorfológica denominada llanura de sedimentación aluvial del río Coto-Colorado en el Pacífico sur de Costa Rica. La precipitación anual en el 2011 fue de 5937 mm

(superior al promedio histórico por influencia del fenómeno La Niña). En el 2012, la precipitación acumulada fue de 3343 mm por la influencia del fenómeno opuesto El Niño. Entre la segunda semana de diciembre de 2011 y la mitad del mes de marzo de 2012 se presentó un periodo bastante

seco, al cual se le denomina estación seca en el resto del documento. Los valores más altos de radiación solar y evapotranspiración y los más bajos de humedad relativa se presentaron entre enero y abril de 2012. En la estación seca, la temperatura máxima alcanzó 37 °C y la mínima 17,9 °C. (35,3 °C y 20,2 °C en la estación lluviosa.

Entre abril y diciembre (estación de más lluvias), el nivel freático fluctuó entre 0,4 y 1,5 m y la humedad volumétrica en los primeros 85 cm se mantuvo cercana a 48%, particularmente en sitios con textura fina y baja conductividad hidráulica. La alta densidad aparente común en el sitio agravó el problema de bajo contenido de oxígeno en el suelo durante la mayor parte de la estación de lluvias; fenómeno que fue documentado anteriormente por Durán y Ortiz (1995).

Potencial hídrico

Durante la estación lluviosa, la hoja más joven abierta (uno en la filotaxia) de las palmas enfermas mostró un potencial hídrico más alto que en las palmas en las otras tres categorías. En la hoja 17 no se observó diferencias significativas entre palmas sanas, enfermas y recuperadas. El potencial hídrico en las hojas en el híbrido Amazon (de menor edad) fue significativamente menor. En la estación seca, las plantas enfermas presentaron potenciales hídricos significativamente menores en la hoja No. 1 que las otras categorías de palmas. Las hojas en la posición 17, tanto de las plantas enfermas como de las sanas, presentaron potenciales hídricos significativamente menores con respecto a las palmas recuperadas y al híbrido Amazon. Estos resultados podrían indicar una menor capacidad de regulación del potencial hídrico de las hojas en las plantas con PC y pérdida de la capacidad para responder a la alta demanda evaporativa de la atmósfera a través del cierre estomático (Fig. 1).

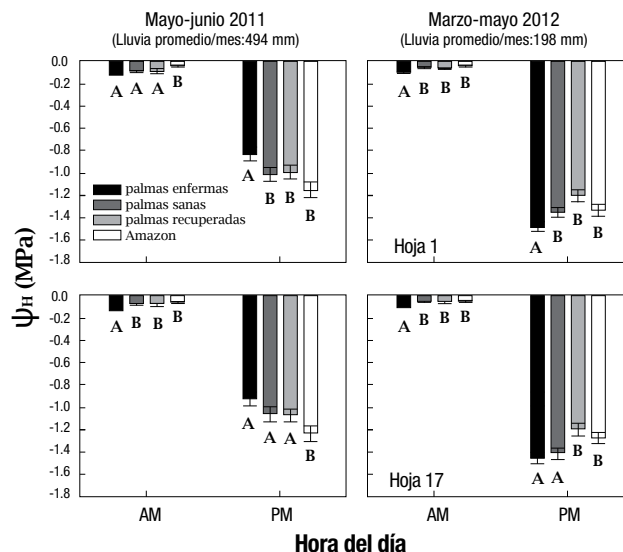


Fig. 1. Potencial hídrico en las hojas No. 1 y 17 en tres categorías de palmas (*E. guineensis*: variedad Deli x Nigeria) con distinta respuesta a la PC. Las palmas inicialmente sanas y las recuperadas tenían 5 años en el campo, y las enfermas 6 años, al inicio de la toma de datos. El híbrido OxG, Amazon es tolerante y era de menor edad (2 años en el campo), y se incluye como referencia.

AM: 5:00-6:00 am; PM: 11:00 am-1:00 pm. Pacífico sur de Costa Rica. Las mismas palmas en cada categoría fueron medidas en ambas ocasiones (mayo-junio 2011 y marzo-mayo 2012); por lo cual estaban en diferente estado fisiológico (síntomas o recuperación más avanzada en la segunda medición). Comparación múltiple de pares de medias con la prueba de DGC. Datos son las medias de 360 muestras en cada estación. Letras iguales denotan diferencias no significativas, $P < 0,05$.

Contenido relativo de agua y peso foliar específico

Las mediciones de estas variables solo fueron hechas en diciembre de 2011 (362 mm de lluvia). El contenido relativo de agua en las hojas No. 1 y 17 de las palmas enfermas fue significativamente mayor que el determinado en las palmas en las otras categorías; lo cual podría indicar cierto tipo de "hiper-hidricidad" en las palmas con PC. Este tipo de respuesta ha sido observada en algunas infecciones bacterianas (Beattie 2011). No obstante, no existen datos de esta variable durante la época seca para efectos de comparación.

El peso foliar específico explica muchas de las variaciones en el crecimiento entre las especies y los cultivares (Roderick et al. 1999, Poorter et al. 2009). El valor de esta variable en la hoja uno fue significativamente mayor en las palmas enfermas y menor en las sanas y recuperadas (Fig. 2).

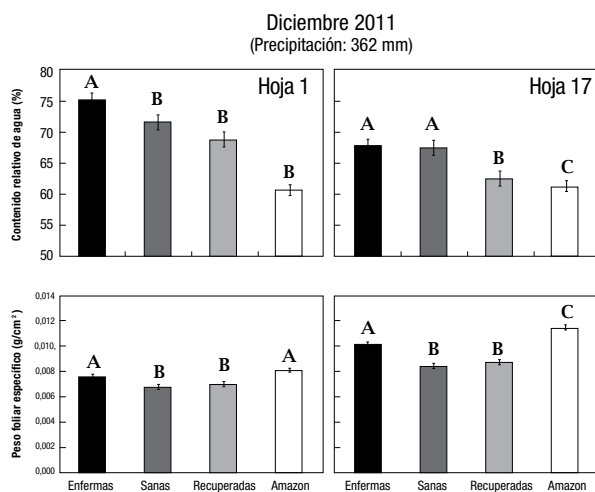


Fig. 2. Contenido relativo de agua y peso foliar específico en las hojas No. 1 y 17 en tres categorías de palmas (*Elaeis guineensis*, variedad Deli x Nigeria), según su respuesta a la PC. Las palmas inicialmente sanas y las recuperadas tenían 5 años en el campo, y las enfermas 6, al inicio de la toma de datos. El híbrido O×G, Amazon es tolerante y era menor (2 años en el campo), y se incluye como referencia. Pacífico sur de Costa Rica. La comparación múltiple de todos los pares de medias en el análisis de la varianza fue realizada utilizando la prueba de DGC. Datos son las medias de 360 muestras. Letras iguales denotan diferencias no significativas, $P < 0,05$.

Una forma de interpretar estos resultados, es asumir que los primeros síntomas aéreos visibles de la PC corresponden en realidad a las últimas fases de un trastorno que se inició meses atrás y que en ese momento la palma se encontraba en una fase de intento de recuperación. Los datos de alta conductancia estomática indican mayores tasas fotosintéticas que permitieron la acumulación de mayor cantidad de productos fotosintéticos y biomasa por unidad de área foliar.

Índice de clorofila

No se detectaron diferencias en el color verde de la hoja 17 entre categorías de plantas ni entre mediciones en el tiempo. Como era esperable, las hojas jóvenes (No. 1) de las palmas enfermas eran menos verdes al inicio de los síntomas. Según las mediciones durante la estación menos húmeda (marzo-mayo 2012, precipitación promedio: 198 mm/mes) las hojas mostraban un color más verde; posiblemente asociado con el proceso de recuperación de esas plantas pues la medición fue realizada aproximadamente un año después de la aparición los primeros síntomas. Esta respuesta sucedió a pesar que el potencial hídrico era menor (Fig. 3).

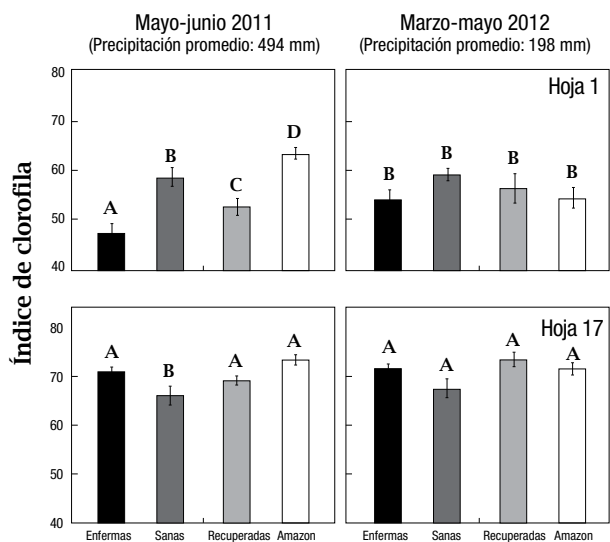


Fig. 3. Índice de clorofila en las hojas No. 1 y 17 en tres categorías de palmas (*Elaeis guineensis*, variedad Deli x Nigeria) según su respuesta a la PC. Las palmas inicialmente sanas y las recuperadas tenían 5 años en el campo, y las enfermas 6, al inicio de la toma de datos. El híbrido O×G, Amazon es tolerante y era menor (2 años en el campo), y se incluye como referencia. Pacífico sur de Costa Rica. Las mismas palmas en cada categoría fueron medidas en ambas ocasiones (mayo-junio 2011, precipitación promedio: 494 mm/mes) y (marzo-mayo 2012, precipitación promedio: 198 mm/mes); por lo cual estaban en diferente estado fisiológico (síntomas o recuperación más avanzada en la segunda medición). Comparación múltiple de pares de medias con la prueba de DGC. Datos son las medias de 195 muestras en cada estación. Letras iguales denotan diferencias no significativas, $P < 0,05$.

Fluorescencia (Fv/Fm)

El valor óptimo del índice Fv/Fm oscila entre 0,7 y 0,8 en la mayoría de las plantas, y cambia a lo largo del día en función de las condiciones ambientales (luz, temperatura) y en respuesta a diferentes estreses bióticos y abióticos durante los cuales el índice Fv/Fm decrece. En los meses de marzo-abril de 2012, durante la estación de menos lluvias (198 mm/mes), este valor fue mayor en la hoja No. 1 de las plantas enfermas; lo que aparentemente indica que las palmas con PC sufrían menos estrés hídrico que las plantas pertenecientes a las otras categorías, o bien que existían mecanismos que intentaban evitar la pérdida de agua. En la hoja hojas 17 (sin síntomas aparentes) no ocurrió esto (Fig. 4).

Los valores de Fv/Fm favorables en hojas adultas de palmas con PC podrían indicar que estas no tienen la capacidad de responder a los estímulos ambientales que pueden generar estrés durante la estación seca, como la alta radiación y la sequía atmosférica. El color y las relaciones hídricas en estas

hojas (que se mantenían razonablemente verdes y mostraban valores de potencial hídrico menores) corroboran esta idea.

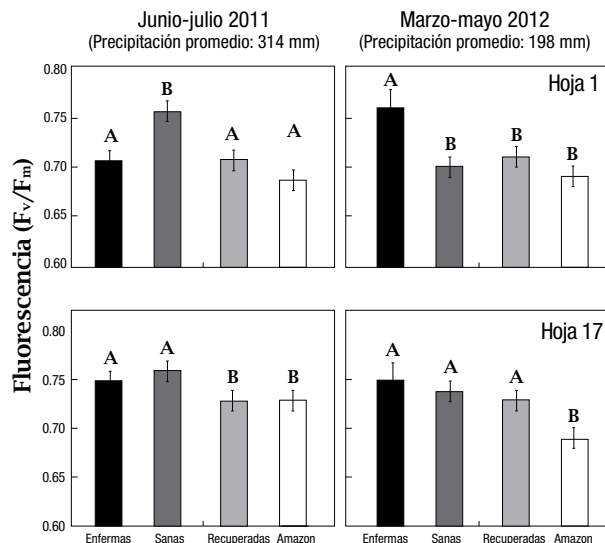


Fig. 4. Índice de fluorescencia variable/fluorescencia máxima (F_v/F_m) en las hojas No. 1 y 17 en tres categorías de palmas (*Elaeis guineensis*, variedad Deli x Nigeria), según su respuesta a la PC. Las palmas inicialmente sanas y las recuperadas tenían 5 años en el campo, y las enfermas 6, al inicio de la toma de datos. El híbrido OxG, Amazon es tolerante y era menor (2 años en el campo), y se incluye como referencia. Junio-julio 2011: 314 mm/mes; marzo-abril 2012: 198 mm/mes. Pacífico sur de Costa Rica. Las mismas palmas en cada categoría fueron medidas en las dos ocasiones, por lo cual estaban en diferente estado fisiológico (síntomas o recuperación más avanzada en la segunda medición). Comparación múltiple de los pares de medias con la prueba de DGC. Datos son las medias de 360 muestras en cada estación. Letras iguales denotan diferencias no significativas, $P < 0,05$.

Conductancia estomática, transpiración y temperatura

Durante la segunda medición de conductancia estomática (marzo-abril 2012, precipitación promedio: 198 mm) de las hojas recién abiertas (uno en la filotaxia), este valor fue notoriamente superior en las palmas que habían estado mostrando síntomas al menos desde abril del 2011. La transpiración de las hojas en las plantas afectadas por PC fue significativamente mayor y la temperatura de las hojas significativamente menor (Fig. 5). Respuestas similares y pérdida del control estomático han sido observadas en cocoteros afectados por pudriciones de las raíces asociadas con patógenos potenciales presentes en el suelo (Rajagopal et al. 1986).

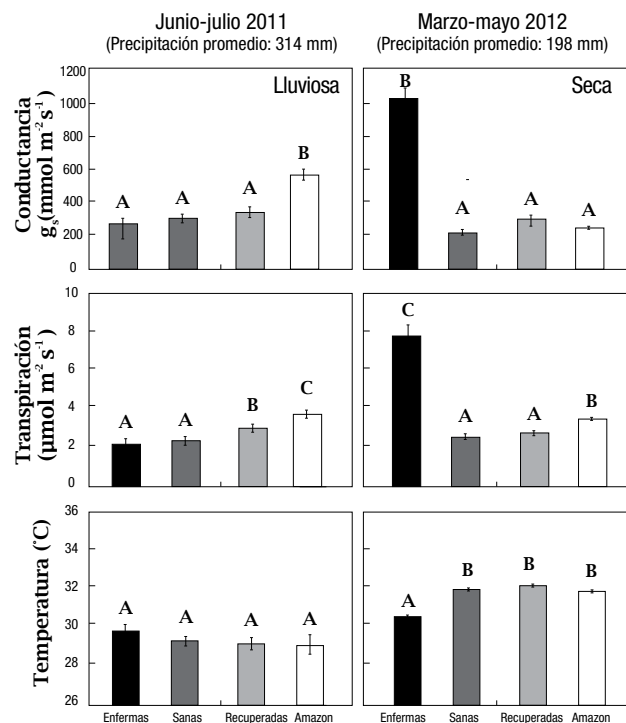


Fig. 5. Conductancia estomática, transpiración y temperatura en las hojas No. 1 y 17 en tres categorías de palmas (*Elaeis guineensis*, variedad Deli x Nigeria) según su respuesta a la PC. Las palmas inicialmente sanas y las recuperadas tenían 5 años en el campo, y las enfermas 6, al inicio de la toma de datos. El híbrido OxG, Amazon es tolerante y tenía 2 años en el campo, y se incluye como referencia. Las palmas donde se realizaron las mediciones en los dos periodos son las mismas; de manera que el estado fisiológico cambió en el periodo (por el progreso de los síntomas y del proceso de recuperación). Junio-julio 2011: 314 mm/mes; marzo-mayo 2012: 198 mm/mes. Pacífico sur de Costa Rica. Comparación múltiple de pares de medias con la prueba de DGC. Datos son medias de 720 muestras en cada estación. Letras iguales denotan diferencias no significativas, $P < 0,05$.

Nutrientes en las hojas

El contenido de la mayoría de los elementos en la hoja fue de medio a alto, pero el Fe y el Mn estuvieron por encima de lo considerado normal. La relación Fe/Mn fue baja ($<2:1$); lo que indica que el contenido de Fe podrían ser deficiente al compararlo con el de Mn. Los desequilibrios entre Fe y Mn han sido asociados a un sistema radical de aspecto no saludable 'corchosis' en las raíces; lo cual también se ha observado en otras plantas (Vargas 1996, 1999).

Las hojas jóvenes tenían contenidos mayores de N, P, K, Zn y Cu y las de mayor edad contenían más Ca, Mg, B, Fe y Mn. El nitrógeno mostró un comportamiento especial en las palmas enfermas, que fue mayor en la estación lluviosa (julio de 2011, precipitación: 603 mm) en las hojas adultas. El índice de clorofila indicó también que las hojas adultas estaban más verdes que las jóvenes.

Las palmas enfermas tenían contenidos relativamente altos de K, tanto en la época lluviosa como en la seca, probablemente debido a las aplicaciones adicionales de KCl, con el objetivo de disminuir la severidad de la PC. Las aplicaciones de fertilizante extra posiblemente alteraron las relaciones entre bases y entre nitrógeno y potasio que podrían haber estado presentes inicialmente.

No obstante lo anterior, se pueden observar algunas tendencias que indican que algunas relaciones entre elementos podrían estar asociadas con la aparición de algunos de los síntomas de la PC. Por ejemplo, durante la estación de menos lluvias (abril de 2012, precipitación:

210 mm), las hojas intermedias (16-17) de las palmas con síntomas tenían el máximo valor observado (3.0) de la relación N/K. También se puede destacar que la relación Mg/K, tanto en hojas jóvenes como de edad intermedia en la parcela con las palmas inicialmente sanas (pero en donde eventualmente aparecieron palmas con síntomas) fue consistentemente mayor. En las palmas ya enfermas y recuperadas esta relación era similar. Por otro lado, la relación Ca/Mg fue siempre mayor en las palmas en proceso de recuperación de los síntomas. Algunos de estos posibles desequilibrios fueron observados en otros estudios de palmas afectadas por PC o bien que eventualmente mostraron síntomas (Chinchilla y Durán 1999) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Contenido de nutrimentos en hojas jóvenes (1, 2 y 3) y adultas (15, 16 y 17) en tres categorías de palmas (*E. guineensis*, variedad Deli x Nigeria): sanas, con síntomas y recuperadas de PC. El híbrido OxG era menor (dos años en el campo) y se incluye como referencia solamente. Cada valor es el promedio del análisis de folíolos basales, mediales y distales tomados de forma compuesta en tres palmas de cada categoría de planta

	Estación lluviosa								Estación seca							
	Jóvenes				Adultas				Jóvenes				Adultas			
	Enfermas	Sanas	Recuperadas	Amazon	Enfermas	Sanas	Recuperadas	Amazon	Enfermas	Sanas	Recuperadas	Amazon	Enfermas	Sanas	Recuperadas	Amazon
N	2,75	3,01	3,03	3,14	2,83	2,94	2,74	2,87	2,63	2,79	2,51	2,82	2,61	2,68	2,74	2,58
P	0,17	0,18	0,17	0,21	0,16	0,17	0,16	0,16	0,20	0,19	0,18	0,17	0,14	0,16	0,16	0,15
K	1,49	1,47	1,34	1,49	1,31	1,23	1,29	1,17	1,79	1,49	1,67	1,50	0,87	1,25	1,27	1,12
Mg	0,25	0,37	0,27	0,23	0,25	0,31	0,23	0,16	0,21	0,30	0,23	0,27	0,18	0,27	0,24	0,22
Ca	0,58	0,67	0,79	0,65	0,79	0,84	0,99	0,85	0,46	0,66	0,90	0,52	1,03	0,87	1,11	1,00
B	14	15	13	16	19	18	18	18	25	43	44	29	32	42	37	41
Zn	18	23	23	25	17	21	23	17	22	20	22	17	14	18	20	17
Fe	48	50	51	47	64	59	56	63	43	65	56	68	81	73	64	95
Mn	87	288	115	83	108	363	125	129	61	176	137	99	89	231	158	136
Cu	7	8	8	11	6	7	6	10	6	8	7	5	5	6	6	5
S	0,17	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,17	0,16	0,18	0,17	0,17	0,18	0,17
Fe/Mn	0,55	0,18	0,45	0,56	0,61	0,17	0,45	0,50	0,70	0,41	0,44	0,69	0,93	0,35	0,41	0,73
N/K	1,96	2,29	2,32	2,31	2,21	2,59	2,16	2,65	1,48	2,16	1,96	1,90	3,00	2,35	2,18	2,41
Ca/Mg	2,26	1,78	2,96	2,84	3,20	2,78	4,24	5,65	2,14	2,17	4,02	1,92	5,71	3,31	4,92	4,71
Ca/K	0,42	0,52	0,62	0,49	0,63	0,78	0,81	0,81	0,26	0,55	0,70	0,36	1,20	0,87	0,92	0,96
Mg/K	0,18	0,28	0,21	0,17	0,19	0,27	0,19	0,14	0,12	0,24	0,15	0,18	0,21	0,24	0,19	0,20

Conclusiones

La aparición y severidad de la PC en palma aceitera no puede separarse de una serie de situaciones que crean estrés en la planta debido a desequilibrios en el continuo suelo-planta-ambiente, y que pueden inducir al desencadenamiento de un síndrome morfo-fisiológico, que aparentemente se inicia con la muerte de las raíces finas terciarias y cuaternarias mayormente. En el caso particular del Pacífico Sur de Costa Rica, se crea mucho estrés por la combinación de un exceso de agua en el suelo (alta precipitación pluvial), las características de los suelos, la anaerobiosis relacionada y la baja radiación en ciertos periodos.

Una alta humedad volumétrica se asocia con la saturación de los suelos, la poca disponibilidad de oxígeno para las raíces y desbalances nutricionales (Durán y Ortiz 1995, Peralta et al. 1985). Las estaciones lluviosas del 2010 y 2011 fueron muy intensas, con meses con 800 mm o más de lluvia; pero el 'periodo seco' del 2012 fue anormalmente seco.

Aparentemente el deterioro del sistema radical de las palmas afectadas por PC y sus efectos en el follaje también estuvo asociado con un problema de absorción y translocación anormal de nutrientes. Esto resultó en el desarrollo de los síntomas de clorosis progresiva en las hojas más jóvenes. Estos síntomas pueden ser asociados con la deficiencia de elementos no móviles como el hierro y el calcio; en la necrosis de las hojas flechas y de las hojas en expansión, que reciben cantidades sub-óptimas de elementos nutritivos esenciales. La toma y transporte anormal de algunos elementos puede conducir a la creación de desequilibrios entre ellos; particularmente entre Fe y el Mn, las bases (Ca, Mg, K), el nitrógeno y el potasio, y posiblemente otras en donde intervienen el calcio y el boro.

Las hojas de las palmas afectadas por PC mostraron pérdida del control estomático de la transpiración y reducciones del potencial hídrico de las hojas; debido probablemente a la ausencia de señales químicas o hídricas que, en palmas sanas, provienen de sistemas radicales funcionales (Davies y Zhang 1991). Así, algunos de los síntomas fisiológicos que caracterizan a las palmas afectadas por PC se manifestaron durante la

estación seca; durante la cual las palmas son inducidas a transpirar excesivamente, en proporción a la demanda evaporativa de la atmósfera y la alta radiación solar, reduciéndose su potencial hídrico.

La predisposición fisiológica puede resultar en la susceptibilidad de las palmas a microorganismos oportunistas (Ayres 1974); algunos de los cuales pueden habitar como endófitos de plantas sanas (*Pseudomonas*, *Fusarium*, *Phyitium*) (Porrás y Bayman 2011, Zamioudis et al. 2013). *Pseudomonas* sp., puede habitar como endófito de las raíces de las plantas y promover el crecimiento y la salud de las mismas (Zamioudis et al. 2013), pero puede tornarse patogénico en condiciones de estrés, y liberar toxinas en la corriente de transpiración que inhiben el cierre estomático en las hojas (Beattie 2011). Similarmente, diversos patógenos bacterianos del follaje liberan 'efectores' en las superficies de las hojas, que interfieren con el funcionamiento estomático e impiden su cierre en respuesta a la infección (Melotto et al. 2008).

Las plantas con PC en estados iniciales pueden mostrar aumentos transitorios de la conductancia estomática, temperatura del follaje más baja, y mayor contenido de clorofila, por lo que se ven inicialmente más verdes. Sin embargo, en ausencia de raíces finas capaces de absorber agua y minerales del suelo en cantidad suficiente, se genera un desbalance hídrico, nutricional y energético durante la estación seca, que es sufragado por las reservas de agua y nutrientes del tronco de las palmas; estas reservas cumplen funciones estructurales y funcionales, pero son limitadas por el tamaño del tronco, de manera que su agotamiento en estados avanzados de la PC conduce al colapso relativamente rápido de la estructura y el funcionamiento de las palmas, las cuales pierden el brillo de las hojas y su estabilidad física y mecánica (Rajagopal et al, 1986; Henson y Haniff, 2005).

Se validaron varios indicadores de estrés y de predisposición a la aparición de un trastorno como la PC, tales como cambios en el índice P_xS, la razón de sexo y el comportamiento estomático. Otro indicador, pero de mayor laboriosidad en cuanto a su medición, es la evaluación periódica de la abundancia, la calidad y la salud de las raíces (Albertazzi et al. 2005).

Literatura citada

- Akino, S; Kondo, N. 2012. Common spear sot of oil palm in Indonesia. *Plant Disease* 96:537-543.
- Albertazzi, H; Bulgarelli, J; Chinchilla, C. 2005. Eventos previos y contemporáneos a la aparición de los síntomas de la pudrición del cogollo en palma aceitera. *ASD Oil Palm Papers* 28:21-41.
- Ayres, P. 1984. The interaction between environmental stress injury and biotic disease physiology. *Annu. Rev. Phytopathol.* 22:53-75.
- Beattie, G. 2011. Water Relations in the interaction of foliar bacterial pathogens with plants. *Annu. Rev. Phytopathol.* 49:533-555.
- Chinchilla, C. 2008. Las muchas caras de las pudriciones del cogollo en flecha en palma aceitera y la importancia de un enfoque práctico para su manejo. *ASD Oil Palm Papers* 32:1-25.
- Chinchilla, C. 2010. Las pudriciones del cogollo en palma aceitera: la complejidad del desorden y una guía de convivencia. *ASD Costa Rica-Palma Tica* 1:1- 22.
- Chinchilla, C; Durán, N. 1998. Manejo de problemas fitosanitarios en palma aceitera: una perspectiva agronómica. *Palmas* 19:242-256.
- Corley, R; Tinker, P. 2003. *The Oil Palm*. 4ta ed. Oxford, GT, Blackwell Science. 562 p.
- Davies, W; Zhang, 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology.* 42: 55-76.
- Durán, N; Ortiz, R. 1995. Efecto de algunas propiedades físicas del suelo y la precipitación sobre la producción de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) en Centroamérica. *Agronomía Mesoamericana* 6:7-14.
- Franqueville, H. 2001. Oil palm bud rot in Latin America: preliminary review of established facts and achievements. *CIRAD/BUROTROP*. 33 p.
- Henson, I; Roslan, M; Haniff, Mohd; Yahya, Z; Aishah, S. 2005. Stress development and its detection in young oil palms in North Kedah, Malasia. *Journal of Oil Palm Research* 17: 11-26.
- Lain, D. 2009. La causa de la pudrición del cogollo en palma de aceite: hipótesis biótica-edáfica. *CIAT. Honduras*. 113 p.
- Melotto, M; Underwood, W; Yang, S. 2008. Role of stomata in plant innate immunity and foliar bacterial diseases. *Annu. Rev. Phytopathol.* 46:101-122.
- Rajagopal, V; Patil, D; Sumathykuttyamma, B. 1986. Abnormal stomatal opening in coconuts palms affected with rot wilt disease. *Journal of Experimental Botany* 37:1398-1405.
- Zamioudis, C; Mastranesti, P; Dhonukshe, P; Blilou, I; Corné, P. 2013. Unraveling root developmental programs initiated by beneficial *Pseudomonas* spp. Bacteria. *Plant Physiology.* 162:304-318.

Morpho-physiological monitoring of oil palms (*Elaeis guineensis* Jacq.) affected by spear rots (PC)

Joaquín Torres¹, Marco Gutiérrez², Carlos Chinchilla³

Abstract

The morphology, growth and physiology of oil palms (*Elaeis guineensis* Jacq., Deli x Nigeria variety) was characterized at different stages of development of the condition known as 'dry spear' or FS (for 'flecha seca' in Spanish), and some morpho-physiological indicators associated with a predisposition for the disorder were identified. In Costa Rica, 'FS' has symptomology very similar to spear rot or PC (pudrición del cogollo), as it was described in South America. 'PC' is a dynamic disorder of complex etiology that affects the development and physiology of palms. The symptomology ('yellowing', drying and rotting/) occurs in young leaves and in tissues near the meristem. The aerial symptoms are associated with a deteriorated fine root system.

During the initial stages of the disorder in the season with the least precipitation (3.8-73 mm/month), the palms presented low water potential in the leaves, increases in stomatic conductance, reduction in foliage temperature, higher chlorophyll content and reduction of vegetative development. The loss of the fine root system was possibly the cause of the interruption of hormonal 'signals' toward the aerial part; which caused the loss of stomatic control of transpiration that led to a hydric, nutritional and energetic imbalance.

The anomalous behavior of stomatic conductance and other variables (root density and petiole cross-section), described in a previous article (this journal), is an indicator that could signal conditions of predisposition to a syndrome like PC.

Introduction

The disorder known locally as 'flecha seca' (dry spear), which is considered similar in its causes and effects to the so-called spear rot or PC (for 'pudrición del cogollo' in South America) (Franqueville 2001, Chinchilla 2010, Corley and Tinker 2003), has affected some plantations in Costa Rica, which have recovered, but not before suffering losses in productivity, according to the incidence and severity of the disorder.

The etiology of PC is complex and the intents to associate it with a unique pathogenic agent have not yielded conclusive results nor contributed to the management of the problem. In some regions of South America, such as Tumaco, Colombia, the presence of PC

associated with problems of low productivity have even caused the abandonment of plantations.

In general, the aerial symptoms of PC include the appearance of a yellow coloration (chlorosis) on the basal sections of some of the youngest leaves and rotting and/or drying of the spear leaves (unopened leaves) (Chinchilla 2010). Invariably, these aerial symptoms are associated with a deterioration of the fine root system of the plant (Albertazzi et al. 2005). The deterioration of the plants can be very great with a halt in bunch production of fruits. Nevertheless, it is possible to recover most of the plants, whose recovery period is associated with the degree to which it is possible to improve soil aeration

Keywords: PC, stress, growth, photosynthesis

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

² EEFB, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Univ. de Costa Rica, surdo26@racsa.co.cr

³ Consultor para ASD, cmlchinchilla@gmail.com

conditions and the health of the root system (Chinchilla and Durán 1998). However, some affected palms can die apparently due to inanition (inability to recover the root system) and also because they could be attacked by some pests such as the South American palm weevil (*Rhynchophorus palmarum*), root miners such as *Sagalassa valida* (in South America) and/or opportunistic pathogens (endophytic or external).

The variation in symptomatology, the possible causes, the presence or absence of pathogenic agents associated with the plants affected by different types of rots that encompass the young tissues and the management strategies available have been described elsewhere (Chinchilla 1998, 2008, 2010, Franqueville

2001, Laing 2009, Turner 1981, Akino and Kondo 2012).

The different stress factors that induce susceptibility to pests and diseases of the plants in the tropics have been well documented (Henson et al. 2005, Ayres 1974, Yarwood 1976). Noteworthy among these stress factors are the low availability of solar radiation, hypoxia conditions in the soil, water deficit, high temperatures and deficiencies of non-structural carbohydrates.

The objective of this work was to characterize the morphology, growth and physiology of oil palms in different stages of development of the 'flecha seca' syndrome in Costa Rica in an attempt to identify indicators of predisposition to the disorder.

Materials and Methods

Location of the study and plant material

The study was carried out in oil palm plantations of the southern Pacific of Costa Rica, at an elevation of 24 to 30 masl. The climate of the region is very wet, with less than three months of low precipitation. Annual average precipitation oscillates between 3800 and 4500 mm and the highest precipitation occurs between the months of March and November, with records of 800 mm per month or more during some months (July and November). In these conditions the soil moisture regime is *udic*.

The evaluations were done between April 2011 and August 2012, but prior information was available on climatic variables for the area, its soils and morpho-physiological measurements of the plants. During the evaluation period there were two periods with high rainfall (> 374 mm/month); the first between May and December 2011 and the second between April and December 2012. Between January and March 2012, a relatively dry period (3.8 mm - 73 mm/month) was recorded.

Palms of the commercial variety Deli x Nigeria (*Elaeis guineensis*) were used in the study, grouped into three

categories: healthy, with initial PC symptoms, and recovered from the disorder (Table 1). Each category was found/placed in separate plots at the start of the evaluations. In addition, and as a point of reference, evaluations were done on Amazon hybrid palms (*E. oleifera* x *E. guineensis*) with two years in the field considered tolerant to the disorder.

Table 1. Categories of palms according to their reaction to PC at the onset of the morpho-physiological characterization of the disorder		
Plot	Genetic material	General description of palms at the start of observations
Palms with initial PC symptoms	Deli x Nigeria Six years in the field	-Initial symptoms that included chlorotic leaflets or with limited drying, accumulation of spear leaves that were shorter. <i>PxS</i> values lower than normal in young leaves
Palms initially healthy (first cases in this plot appeared 11 months later)	Deli x Nigeria Five years in the field	-Absence of symptoms associated with PC - Absence of drastic changes in leaf or <i>PxS</i> size
Palms in the symptom recovery phase	Deli x Nigeria Five years in the field	-Recovered from the disorder following surgery of the damaged spear leaves. -Normal <i>PxS</i> values in older leaves -At least 8 healthy expanded leaves
OxG tolerant hybrid	Amazon Two years in the field	-Without symptoms. The information for this hybrid is included as a reference point only; but many data are not comparable due to differences in age with palms in other categories evaluated

Physiological variables

Physiological evaluations were done on basal, medial and distal leaflets of leaves No. 1 and 17 from five plants in each category (Table 1). Three rounds of one week duration each were carried out during the months of May and July 2011 (average precipitation: 494 mm/month) and March and May 2012 (average precipitation: 198 mm/month). Measurements were repeated during the morning and the afternoon.

The water potential of the leaves (MPa) was determined using a Scholander pressure chamber (Mod. PMS 1000, plant moisture stress, Oregon) between 5:00 and 6:00 am and 11:00 am and 1:00 pm. Stomatic conductance ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), temperature ($^{\circ}\text{C}$) and transpiration ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) were measured using an auto-porometer (Li-Cor 1600), equipped with a sensor for photosynthetically active radiation ($\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$), to characterize the light microenvironment. Measurements were taken between 8:00 and 10:00 am and 11:00 am and 1:00 pm.

Fluorescence (Fv/Fm) was measured using a *fluorometer* (Mod. OS-30p, Opti-Sciences) between 8:00 and 10:00 am, under real light conditions, without exposing the leaf to darkness before the measurement. The Fv/Fm index is an indicator of stress when this deviates significantly from the low values of 0.7-0.8. The chlorophyll content index, which is a quantitative indicator of leaf color, was measured with a SPAD sensor (Mod. Minolta 502), between 8:00 and 10:00 am, following the protocols indicated.

The relative water content (RWC, %) and specific leaf weight (g/cm^2) were determined in December 2011 only (end of the rainy season: 362 mm). Thirty discs, 7 mm in

diameter, collected from the basal, medial and distal leaflets of leaves No. 1 and 17 between 10:00 and 11:00 am in the four categories of plants were used for this purpose.

Specific leaf weight, which is an indicator of the quality of the leaves, represents the inversion of dry material per surface unit and it enables assessment of acclimation to the light or water regime. It is calculated as the quotient between the area and the dry weight of the leaf discs used for the measurements of relative water content (Gutiérrez and Villalobos 1996).

$\text{RWC} = (\text{FW} - \text{DW}) / (\text{SFW} - \text{PS}) \times 100$, where RWC is the relative water content, FW is the fresh weight, SFW is fresh weight at saturation, and DW is the dry weight of the sample.

The change in the severity of PC was evaluated in 1295 palms (between March and October 2011, January and July 2012 and January 2013) using a scale between 0 and 5, where 0: healthy palm; 1: palm with leaflets of young leaves with chlorosis and often with the accumulation of spear leaves; 2: palm with chlorosis and necrosis in young leaves and accumulation of spears; 3: palm with rotting and drying in the packet of spears and necrosis and chlorosis in young leaves; 4: palm with very severe symptoms including drying and widespread chlorosis on young leaves.

For the interpretation of the data an analysis of variance (Info Stat, $P > 0,05$) was done and the multiple comparison of all the pairs of medias was done using the DGC test. The results are the means of 360 evaluations for each leaf number in each season.

Results and Discussion

Geographic and climatic characteristics

The four categories of palms evaluated (Table 1) are located within the geomorphological unit known as the alluvial floodplain of the Coto-Colorado River in the southern Pacific of Costa Rica. Annual precipitation in 2011 was 5937 mm (higher than the historic average due to the influence of the La Niña phenomenon). In

2012, accumulated precipitation was 3343 mm due to the influence of the opposite phenomenon El Niño. Between the second week of December 2011 and the middle of March 2012, a rather dry period occurred, which is referred as the dry season in the rest of the document. The highest solar radiation and evapotranspiration values and the lowest relative

humidity values occurred between January and April 2012. In the dry season, the maximum temperature reached 37 °C and the minimum was 17.9 °C (35.3 °C and 20.2 °C in the rainy season).

Between April and December (the rainiest period), the water table level fluctuated between 0.4 and 1.5 m and volumetric humidity in the first 85 cm of soil remained near 48%, particularly at sites with fine texture and low hydraulic conductivity. The high bulk density at the site aggravated the problem of low oxygen content in the soil during most of the rainy season, a phenomenon that was documented earlier by Durán and Ortiz (1995).

Water potential

During the rainy season, the youngest open leaf (No. 1 in the phyllotaxy) of the affected palms showed a higher water potential than the palms in the three other categories. On leaf 17, no significant differences were found between healthy, affected and recovered palms. Water potential in the leaves of the Amazon hybrid (of younger age) was significantly lower. In the dry season, the affected plants showed water potentials significantly lower in leaf No. 1 than in the other categories of palms. The leaves in position 17, for affected plants as well as healthy ones, showed significantly lower water potentials with respect to the recovered palms and the Amazon hybrid. These results could indicate a lower capacity for the regulation of the water potential of the leaves on the plants with PC and a loss of capacity for responding to a high evaporative demand from the atmosphere through stomatic closure (Fig. 1).

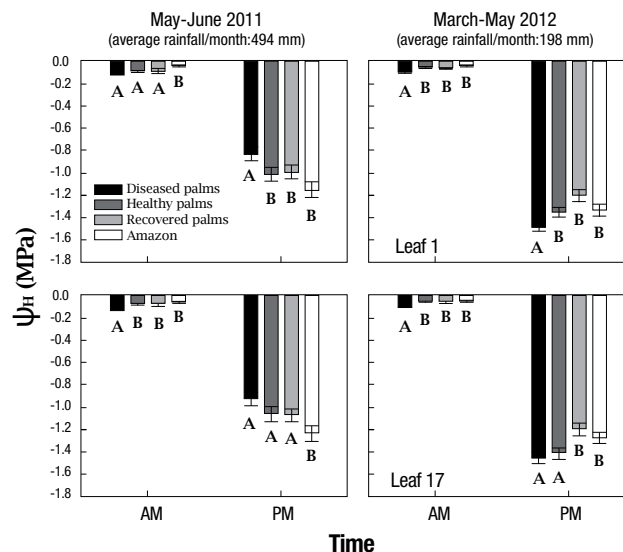


Fig. 1. Water potential in leaves No. 1 and 17 in three categories of palms (*E. guineensis*, Deli x Nigeria variety) with distinct responses to PC. The initially healthy palms and the recovered ones had 5 years in the field, and the affected ones had 6 years, when data collection began. The OxG Amazon hybrid plants are tolerant and they were younger (2 years in the field), and are included as a reference only. AM: 5:00-6:00 am; PM: 11:00 am-1:00 pm. Southern Pacific of Costa Rica. The same palms in each category were measured on both occasions (May-June 2011 and March-May 2012), therefore they were in different physiological stages (symptoms or recovery more advanced at the second measurement). Multiple comparison of pairs of means using the DGC test. The data are the means of 360 samples for each season. Palm categories with the same letters denote non-significant differences, $P < 0.05$.

Relative water content and specific leaf weight

Measures for these variables were taken in December 2011 only (362 mm of rainfall). The relative water content in leaves No. 1 and 17 of the affected palms was significantly higher than the values found in palms in the other categories. This kind of response has been observed in some bacterial infections (Beattie 2011). However, there are no data for this variable during the dry season for comparative purposes.

Specific leaf weight explains many of the variations in growth between the species and the cultivars (Roderick et al. 1999, Poorter et al. 2009). The value for the variable on leaf one was significantly higher in the affected palms and lower in the healthy and recovered ones (Fig. 2).

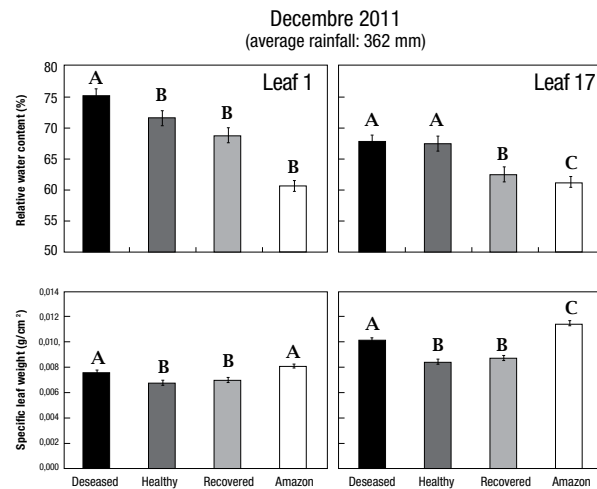


Fig. 2. Relative water content and specific leaf weight in leaves No. 1 and 17 in three categories of palms (*Elaeis guineensis*, variety Deli x Nigeria), according to their response to PC. The initially healthy and recovered palms had 5 years in the field, and the affected ones had 6 years, when data collection began. The OxG Amazon hybrid is tolerant and the plants were younger (2 years in the field), and included as a reference. Southern Pacific of Costa Rica. The multiple comparison of all the pairs of means in the analysis of variance was done using the DGC test. The data are the means of 360 samples. Same letters denote non-significant differences, $P < 0.05$.

One way of interpreting these results is to assume that the first visible aerial symptoms of PC in reality correspond to the last phases of a disorder that began several months earlier and that at the time of the observations the palm was found in an attempted recovery phase. The data for high stomatic conductance indicate higher photosynthetic rates that allowed the accumulation of larger amounts of photosynthetic products and biomass per unit of leaf area.

Chlorophyll index

No differences were detected in the green color of leaf 17 between categories of plants nor between measurements over time. As expected, the young leaves (No. 1) of the affected palms were less green at the onset of the symptoms. According to the measurements during the 'dry season' (March-May 2012, average precipitation: 198 mm/month), the leaves showed a greener color, possibly associated with the recovery process for these plants, since the measurement was taken approximately one year after the appearance of the first symptoms. This response occurred even though the water potential was lower (Fig. 3).

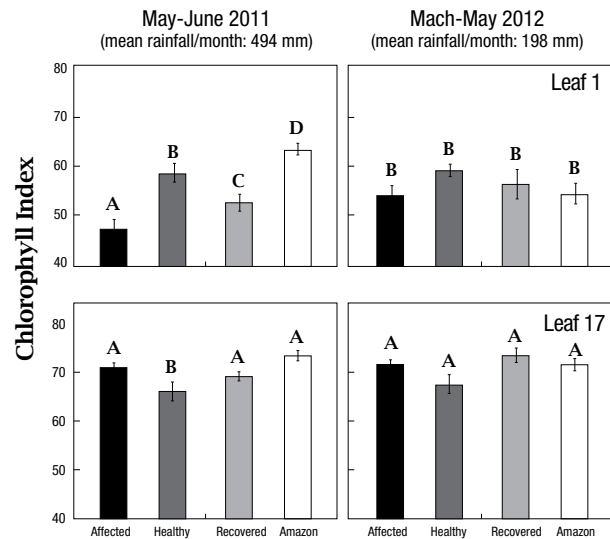


Fig. 3. Chlorophyll index in leaves No. 1 and 17 in three categories of palms (*Elaeis guineensis*, variety Deli x Nigeria) according to their response to PC. The initially healthy palms and the recovered ones had 5 years in the field, and the affected ones had 6 years, at the beginning of data collection. The OxG Amazon hybrid is tolerant and it was younger (2 years in the field), and it is included as a reference. Southern Pacific of Costa Rica. The same palms in each category were measured on both occasions (May-June 2011, average precipitation: 494 mm/month) and (March-May 2012, average precipitation: 198 mm/month); therefore they were in different physiological stages (symptoms or recovery more advanced in the second measurement). Multiple comparison of pairs of means using the DGC test. The data are the means of 195 samples in each season. Palm categories with the same letters denote non-significant differences, $P < 0.05$.

Fluorescence (Fv/Fm)

The optimum value of the Fv/Fm index varies between 0.7 and 0.8 in most of the plants, and changes throughout the day in response to environmental conditions (light, temperature) and in response to different biotic and abiotic stresses during which the Fv/Fm index decreases. In the months of March-April 2012, during the drier period (198 mm/month), this value was higher in leaf No. 1 of the affected plants, apparently indicating that the palms with PC suffered less water stress than plants belonging to other categories, or that there may be mechanisms that tried to prevent water loss. In leaf 17 (without apparent symptoms), this did not occur (Fig. 4).

The favorable Fv/Fm values in adult leaves of palms with PC could be indicating that these do not have the capacity to respond to environmental stimuli that can generate stress during the dry season, such as high radiation and the atmospheric drought. The color and the hydric relations in these leaves (which

remained reasonably green and showed lower water potential values) corroborate this idea.

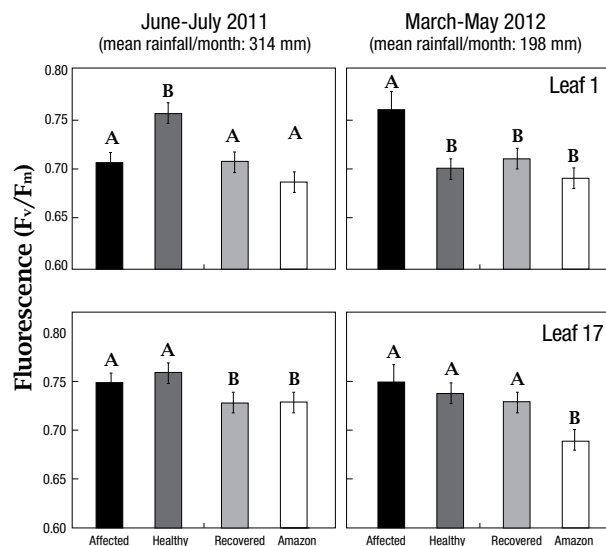


Fig. 4. Variable fluorescence/maximal fluorescence index (F_v/F_m) in leaves No. 1 and 17 in three categories of palms (*Elaeis guineensis*, Deli x Nigeria variety), according to their response to PC. The initially healthy palms and the recovered ones had 5 years in the field, and the diseased ones had 6 years, at the start of data collection. The OxG Amazon hybrid is tolerant and it was younger (2 years in the field), and it is included for reference. June-July 2011: 314 mm/month; March-April 2012: 198 mm/month. Southern Pacific of Costa Rica. The same palms in each category were measured on the two occasions, therefore they were in different physiologic stages (symptoms or recovery more advanced in the second measurement). Multiple comparison of pairs of means using the DGC test. The data are the means of 360 samples in each season. Palm categories with the same letters denote non-significant differences, $P < 0.05$.

Stomatic conductance, transpiration and temperature

During the second measurement of stomatic conductance (March-April 2012, average precipitation: 198 mm) of the recently opened leaves (one in the phyllotaxy), this value was notoriously higher in the palms that had been showing symptoms at least since April 2011. The transpiration of the leaves in the plants affected by PC was significantly higher and the temperature of the leaves significantly lower (Fig. 5). Similar responses and loss of stomatic control have been seen in coconut trees affected by rooting of the roots associated with potential pathogens present in the soil (Rajagopal et al. 1986).

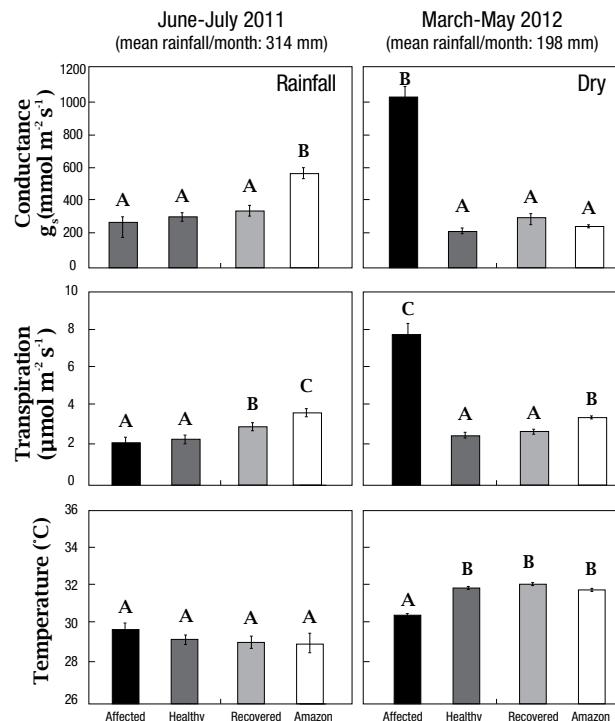


Fig. 5. Stomatic conductance, transpiration and temperature in leaves No. 1 and 17 in three categories of palms (*Elaeis guineensis*, variety Deli x Nigeria) according to their response to PC. The initially healthy palms and the recovered ones had 5 years in the field, and the affected ones had 6 years, at the onset of data collection. The OxG Amazon hybrid is tolerant and had 2 years in the field; it is included for reference. The same palms were used to take measurements in the two periods, such that physiologic status changed in the period (due to the progress of the symptoms and the process of recovery). June-July 2011: 314 mm/month; March-May 2012: 198 mm/month. Southern Pacific of Costa Rica. Multiple comparison of pairs of means using the DGC test. The data are means of 720 samples in each season. The same letters denote non-significant differences, $P < 0.05$.

Nutrients in the leaves

The content of most of the elements in the leaf was medium to high, but Fe and Mn were above what is considered normal. The Fe/Mn relation was low (<2:1), indicating that Fe content could be deficient in comparison to that for Mn. The imbalances between Fe and Mn have been associated with an unhealthy appearing root system or 'corchosis' in the roots, which has also been observed in other plants (Vargas 1996, 1999).

The young leaves had higher contents of N, P, K, Zn and Cu and the older leaves had more Ca, Mg, B, Fe and Mn. Nitrogen showed a special behavior in the affected palms, which was higher in the rainy season (July 2011, precipitation: 603 mm) in adult leaves. The chlorophyll index also indicated that the adult leaves were greener than the young ones.

The affected palms had relatively high contents of K, in the rainy season as well as the dry season, probably due to the additional applications of KCl (this was done in an attempt of reducing the severity of the symptoms). Extra fertilizer applications possibly altered the relations between bases and between nitrogen and potassium that could have been present at the beginning.

Despite the above, some trends can be seen as indicating that some ratios between elements could be associated with the appearance of some PC symptoms. For example, during the 'dry season' (April 2012, precipitation: 210 mm), intermediate leaves (16-17) of the palms

with symptoms had the maximum value observed (3.0) for the N/K relation. It can also be noted that the Mg/K ratio in young leaves as well as ones of intermediate age in the plot with the initially healthy palms (but where palms with symptoms eventually appeared) was consistently higher. In affected palms that had already recovered, this relationship was similar. On the other hand, the Ca/Mg relation was always higher in palms in the process of recovery from the symptoms. Some of these possible imbalances were observed in other studies of PC-affected palms or ones that eventually showed symptoms (Chinchilla and Durán 1999) (Table 2).

Table 2. Content of nutrients in young (1, 2 and 3) and adult (15, 16 and 17) leaves in three categories of palms (<i>E. guineensis</i> , variety Deli x Nigeria): healthy, with symptoms, and recovered from PC. The OxG hybrid was younger (two years in the field) and is include for reference only. Each value is the average of the analysis of basal, medial and distal leaflets from three palms for each category of plant																	
		July 2011 (603 mm, rain)								April 2012 (210 mm, rain)							
		Young				Adults				Young				Adults			
		Affected	Healthy	Recovered	Amazon	Affected	Healthy	Recovered	Amazon	Affected	Healthy	Recovered	Amazon	Affected	Healthy	Recovered	Amazon
(%)	N	2,75	3,01	3,03	3,14	2,83	2,94	2,74	2,87	2,63	2,79	2,51	2,82	2,61	2,68	2,74	2,58
	P	0,17	0,18	0,17	0,21	0,16	0,17	0,16	0,16	0,20	0,19	0,18	0,17	0,14	0,16	0,16	0,15
	K	1,49	1,47	1,34	1,49	1,31	1,23	1,29	1,17	1,79	1,49	1,67	1,50	0,87	1,25	1,27	1,12
	Mg	0,25	0,37	0,27	0,23	0,25	0,31	0,23	0,16	0,21	0,30	0,23	0,27	0,18	0,27	0,24	0,22
	Ca	0,58	0,67	0,79	0,65	0,79	0,84	0,99	0,85	0,46	0,66	0,90	0,52	1,03	0,87	1,11	1,00
(mg/kg)	B	14	15	13	16	19	18	18	18	25	43	44	29	32	42	37	41
	Zn	18	23	23	25	17	21	23	17	22	20	22	17	14	18	20	17
	Fe	48	50	51	47	64	59	56	63	43	65	56	68	81	73	64	95
	Mn	87	288	115	83	108	363	125	129	61	176	137	99	89	231	158	136
	Cu	7	8	8	11	6	7	6	10	6	8	7	5	5	6	6	5
	S	0,17	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,17	0,16	0,18	0,17	0,17	0,18	0,17
Fe/Mn		0,55	0,18	0,45	0,56	0,61	0,17	0,45	0,50	0,70	0,41	0,44	0,69	0,93	0,35	0,41	0,73
N/K		1,96	2,29	2,32	2,31	2,21	2,59	2,16	2,65	1,48	2,16	1,96	1,90	3,00	2,35	2,18	2,41
Ca/Mg		2,26	1,78	2,96	2,84	3,20	2,78	4,24	5,65	2,14	2,17	4,02	1,92	5,71	3,31	4,92	4,71
Ca/K		0,42	0,52	0,62	0,49	0,63	0,78	0,81	0,81	0,26	0,55	0,70	0,36	1,20	0,87	0,92	0,96
Mg/K		0,18	0,28	0,21	0,17	0,19	0,27	0,19	0,14	0,12	0,24	0,15	0,18	0,21	0,24	0,19	0,20

Conclusions

The appearance and severity of PC in oil palm cannot be separated from a series of situations that cause stress in the plant due to imbalances in the soil-plant-environment continuum, and that can trigger a morpho-physiological syndrome, which apparently begins primarily with the death of the fine tertiary and quaternary roots. In the particular case of the Southern Pacific of Costa Rica, much stress is created due to the combination of excess water in the soil (high rainfall), soil characteristics, and the related anaerobiosis and low solar radiation during some periods.

High volumetric humidity is associated with the saturation of soils, low availability of oxygen for the roots, and nutritional imbalances (Durán and Ortiz 1995, Peralta et al. 1985). The rainy seasons of 2010 and 2011 were very intense, with months with 800 mm or more of rain; but the 'dry period' of 2012 was abnormally dry.

Apparently the deterioration of the root system of the palms affected by PC and its effects on the crowns was also associated with a problem of absorption and abnormal translocation of nutrients. This resulted in the development of the symptoms of progressive chlorosis in the youngest leaves. These symptoms can be associated with the deficiency of non-mobile elements such as iron and calcium; in the necrosis of the spear leaves and of the leaves in expansion, which receive sub-optimal quantities of essential nutritive elements. The uptake and abnormal transport of some elements can lead to the presence of imbalances between them; particularly between Fe and Mn, Ca, Mg and K, nitrogen and potassium, and possibly others where calcium and boron intervene.

The leaves of the palms affected by PC showed a loss of stomatic control of transpiration and reductions of the water potential, probably due to the absence of chemical or hydric signals that, in healthy palms, come from functional root systems (Davies and Zhang 1991). Indeed, some of the physiological symptoms that characterize the palms affected by PC manifested during the dry season, during which the palms are induced to transpire excessively in proportion to the evaporative demand of

the atmosphere and high solar radiation, thereby reducing their water potential.

Physiological predisposition can make the palms susceptible to opportunist microorganisms (Ayres 1974); some of which can live as endophytes of healthy plants (*Pseudomonas*, *Fusarium*, *Phytium*) (Porras and Bayman 2011, Zamioudis et al. 2013). *Pseudomonas* sp., can live as an endophyte of plant roots and promote their growth and health (Zamioudis et al. 2013), but they can become pathogenic under conditions of stress, releasing toxins into the transpiration current that inhibits stomatic closure in the leaves (Beattie 2011). Similarly, diverse bacterial pathogens of foliage release 'effectors' on leaf surfaces that interfere with stomatic functioning and impede their closure in response to the infection (Melotto et al. 2008).

The plants with PC in the initial stages can show transitory increases in stomatic conductance, lower foliage temperature, and higher chlorophyll content that initially makes them appear greener. However, in the absence of fine roots capable of absorbing soil water and minerals in sufficient quantity, a hydric, nutritional and energetic imbalance is generated during the dry season, which is overcome by the reserves of water and nutrients in the palm trunk; these reserves meet structural and functional needs, but they are limited by the size of the trunk, such that their depletion in the advanced stages of PC lead to the relatively rapid collapse of the structure and functioning of the palms, which lose the shine on the leaves and their physical and mechanical stability (Rajagopal et al, 1986; Henson and Haniff, 2005).

Several indicators of stress and predisposition to the appearance of a disorder like PC were validated, such as changes in the PxS index, the sex ratio and stomatic behavior. Another indicator, one that is much more labor-intensive to measure, is the periodic evaluation of the abundance, quality and health of the roots (Albertazzi et al. 2005).

Literature Cited

- Akino, S; Kondo, N. 2012. Common spear sot of oil palm in Indonesia. *Plant Disease* 96:537-543.
- Albertazzi, H; Bulgarelli, J; Chinchilla, C. 2005. Eventos previos y contemporáneos a la aparición de los síntomas de la pudrición del cogollo en palma aceitera. *ASD Oil Palm Papers* 28:21-41.
- Ayres, P. 1984. The interaction between environmental stress injury and biotic disease physiology. *Annu. Rev. Phytopathol.* 22:53-75.
- Beattie, G. 2011. Water Relations in the interaction of foliar bacterial pathogens with plants. *Annu. Rev. Phytopathol.* 49:533-555.
- Chinchilla, C. 2008. Las muchas caras de las pudriciones del cogollo en flecha en palma aceitera y la importancia de un enfoque práctico para su manejo. *ASD Oil Palm Papers* 32:1-25.
- Chinchilla, C. 2010. Las pudriciones del cogollo en palma aceitera: la complejidad del desorden y una guía de convivencia. *ASD Costa Rica-Palma Tica* 1:1- 22.
- Chinchilla, C; Durán, N. 1998. Manejo de problemas fitosanitarios en palma aceitera: una perspectiva agronómica. *Palmas* 19:242-256.
- Corley, R; Tinker, P. 2003. *The Oil Palm*. 4ta ed. Oxford, GT, Blackwell Science. 562 p.
- Davies, W; Zhang, 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology.* 42: 55-76.
- Durán, N; Ortiz, R. 1995. Efecto de algunas propiedades físicas del suelo y la precipitación sobre la producción de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) en Centroamérica. *Agronomía Mesoamericana* 6:7-14.
- Franqueville, H. 2001. Oil palm bud rot in Latin America: preliminary review of established facts and achievements. *CIRAD/BUROTROP*. 33 p.
- Henson, I; Roslan, M; Haniff, Mohd; Yahya, Z; Aishah, S. 2005. Stress development and its detection in young oil palms in North Kedah, Malasia. *Journal of Oil Palm Research* 17: 11-26.
- Lain, D. 2009. La causa de la pudrición del cogollo en palma de aceite: hipótesis biótica-edáfica. *CIAT*. Honduras. 113 p.
- Melotto, M; Underwood, W; Yang, S. 2008. Role of stomata in plant innate immunity and foliar bacterial diseases. *Annu. Rev. Phytopathol.* 46:101-122.
- Rajagopal, V; Patil, D; Sumathykuttamma, B. 1986. Abnormal stomatal opening in coconuts palms affected with rot wilt disease. *Journal of Experimental Botany* 37:1398-1405.
- Zamioudis, C; Mastranesti, P; Dhonukshe, P; Blilou, I; Corné, P. 2013. Unraveling root developmental programs initiated by beneficial *Pseudomonas* spp. *Bacteria. Plant Physiology.* 162:304-318.



Ph.(506) 2284-1120 / 2257-2666 · Fax (506) 2257-2667 · E-mail: sales@asd-cr.com
Web site: www.asd-cr.com · P.O. Box 30-1000 San José, Costa Rica