



ISSN
1019-1100

NUMBER 49, 2021

ASD OIL PALM PAPERS



Palma recuperándose de PC luego de una cirugía para remover tejidos secos y podridos.

Palm recovering from PC after a surgery to remove dry and rotten tissues.



“ASD OIL PALM PAPERS”
ES UNA PUBLICACIÓN
BIANUAL DE ASD
(Agricultural Services and Development)

Number 49

2021

EDITOR: Carlos Chinchilla.
COMITÉ EDITORIAL: Amancio Alvarado,
Francisco Peralta.

DIRECCIÓN
(MAILING ADDRESS)

ASD OIL PALM PAPERS
ASD Costa Rica
P.O. Box 30-1000, San José, Costa Rica
Tel.(506) 2284-1120, Fax (506) 2257-2667
E-mail: a.sanchez@asd-cr.com
Website: www.asd-cr.com

CONTENIDO
(CONTENT)

1. La susceptibilidad genética (tolerancia) y el ambiente (sitio) determinan la forma de la curva de progreso en el tiempo de la pudrición del cogollo (PC) en palma aceitera (*Elaeis guineensis* J.)
12. Genetic susceptibility (tolerance) and environment (site) determine the shape of the progress curve over time of bud rot (PC) in oil palm (*Elaeis guineensis* J.)
23. Ablación, rendimiento y sanidad en clones y variedades de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) de alta precocidad
30. Ablation, yield and health in highly precocious oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) clones and varieties
37. Reflexiones sobre la vigilancia de plagas en palma aceitera (observaciones en Costa Rica)
42. Reflections on pest surveillance in oil palm (observations in Costa Rica)

PORTADA
(FRONT COVER)

Palma recuperándose de PC luego de una cirugía para remover tejidos secos y podridos.

Palm recovering from PC after a surgery to remove dry and rotten tissues.

To all our readers: ASD Oil Palm Papers is open to contributions (papers) related to the oil palm agribusiness.
A todos nuestros lectores: la publicación ASD Oil Palm Papers, está abierta a contribuciones (artículos)
relacionados con el cultivo e industria de la palma aceitera.

La susceptibilidad genética (tolerancia) y el ambiente (sitio) determinan la forma de la curva de progreso en el tiempo de la pudrición del cogollo (PC) en palma aceitera (*Elaeis guineensis* J.)

Amancio Alvarado¹, Carlos Ml. Chinchilla², Jeremy Henry, Jesús Rodríguez

Resumen

La pudrición del cogollo (PC) en palma aceitera es un trastorno complejo, el cual se caracteriza por la aparición de clorosis en algunas de las hojas jóvenes y por secamientos o pudriciones parciales o extensivas en el peciolo, raquis y folíolos de las hojas más jóvenes y flechas. Los estudios publicados sobre el progreso de este trastorno en una población de palmas, se refieren a observaciones hechas en áreas comerciales extensas con una sola o muy pocas variedades. En esos estudios normalmente no se separó los efectos del suelo o el microclima y sus interacciones con la genética del material sembrado. Con la hipótesis de la existencia de un patógeno como causa primaria de la PC, se ha señalado que muchas de estas curvas de progreso del disturbio siguen un 'modelo logístico'; lo cual 'prueba' la conjetura. El objetivo del presente trabajo es documentar la diversidad de curvas de progreso de la PC, observadas en parcelas de experimentación con materiales genéticos diversos, en las que se conoce las principales características del suelo.

El estudio se realizó en el Pacífico sur de Costa Rica, en un grupo de cruces genéticos establecidos en parcelas pequeñas. Los datos de incidencia, recuperación y severidad de la PC fueron tomados mensualmente entre enero de 2011 y abril de 2015. Las curvas de progreso de la enfermedad en cada cruce fueron caracterizadas con seis ecuaciones matemáticas ('modelos'): lineal, logarítmica, exponencial, monomolecular, logística y Gompertz, y se escogió la de mejor ajuste según el valor más alto del coeficiente de determinación (R^2). Adicionalmente, se definió un 'índice de tolerancia' (IT), el cual reúne en un solo dato las tasas de incidencia y recuperación y la severidad promedio.

Se encontró gran variación en la forma de las curvas de progreso de la PC (CPPC) en el tiempo, dependiendo del sitio donde las palmas crecen. Por consiguiente, las ecuaciones de mejor ajuste son diferentes. En algunos cruces, hubo un mejor ajuste de la CPPC con una ecuación lineal o incluso 'monomolecular'. Para otros cruces, el mejor ajuste se consiguió con las ecuaciones 'logística' o exponencial. En aquellos casos en que el inicio de la enfermedad fue más tardío y en los cruces que mostraron mayor tolerancia, se observó una tendencia más bien lineal. Además, se encontró un claro componente hereditario asociado con el comportamiento de esta enfermedad.

La obtención de curvas de progreso distintas al modelo logístico, en especial las de tipo lineal o monomolecular, muestran que la PC en palma aceitera tiene un importante componente abiótico. Este conocimiento, más la evidencia de la transmisión hereditaria de la tolerancia (susceptibilidad) al trastorno en cruces de *E. guineensis*, son cimiento para el desarrollo de variedades tolerantes y diseño de nuevas estrategias de manejo agronómico en plantaciones comerciales.

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

² Consultor para ASD de Costa Rica, cmlchinchilla@gmail.com

Introducción

La enfermedad conocida como 'pudrición del cogollo' (PC) y otros desórdenes relacionados de naturaleza similar, inducen una serie de síntomas entre los que comúnmente se destacan el 'amarillamiento' (clorosis) parcial de las hojas jóvenes y secamientos y pudriciones parciales en el peciolo, raquis y folíolos en las hojas 'flecha'. Las hojas más viejas no son afectadas inicialmente, pero el sistema radical de las palmas afectadas muestra un deterioro que parece anteceder a los síntomas aéreos (Albertazzi et al. 2005, Torres et al. 2014).

La curva de progreso en el tiempo de una enfermedad (CPE) integra los efectos del hospedero, del patógeno y del ambiente que ocurren durante la epifitía. El análisis de la CPE permite conocer mejor la enfermedad y desarrollar formas eficientes de manejo; no obstante, se debe tener presente que diferentes eventos con causas disímiles, pueden tener curvas similares (Van der Plank 1963, Campbell y Madden 1990).

Si se logra asociar un agente biológico a las curvas de incremento de un desorden en una población de plantas, tales curvas pueden dividirse en las que 'explican' una multiplicación efectiva del inóculo (enfermedades policíclicas) y las que se asocian con patógenos sin una multiplicación efectiva del inóculo (enfermedades monocíclicas), durante una estación o ciclo del cultivo. Van der Plank (1963) propuso los modelos logístico y monomolecular para describir las enfermedades policíclicas y monocíclicas, respectivamente. Sin embargo, cuando la 'curva' de progreso del desorden en una población de plantas sigue una tendencia claramente lineal, se puede argumentar que existe un peso muy importante de factores abióticos que entran en juego y dejan en segundo plano las causas bióticas, como es el caso de los llamados 'declines' (Manion y Lachance 1992).

El uso de ecuaciones matemáticas para describir una CPE ha sido una herramienta útil, pero muchas veces abusada en el intento de justificar una hipótesis sobre la existencia de un agente biótico. El caso del progreso en el tiempo de la PC en palma aceitera, podría ser un ejemplo del uso inadecuado de ecuaciones matemáticas para describir los cambios de incidencia en el tiempo y

'ajustarlos' a la teoría de un patógeno, cuya presencia única explique toda la gama de síntomas que caracteriza ese desorden (Chinchilla 2008, Swinburne 1993).

En el pasado se intentó ajustar la curva de progreso de la PC en el tiempo a un modelo o ecuación matemática que describe un progreso 'logístico', para lo cual se usó las ecuaciones propuestas por Van der Plank que han sido ampliamente utilizadas en estudios de diversas epifitias (Campbell y Madden 1990, Navia et al. 2014, Van der Lande 1983). Un ajuste a tales ecuaciones, ha sido tomado como evidencia de la existencia de un patógeno primario involucrado como causa única de la PC. Sin embargo, en otras situaciones y aún con el mismo grupo de datos, se ha llegado a conclusiones diferentes (Bergamin et al. 1997, Laranjeira et al. 1998). Una posible razón para estos desacuerdos puede yacer en la escasa diversidad de los materiales genéticos en los que se estudió el progreso de la PC; generalmente variedades comerciales como Deli x AVROS y Deli x La Mé, sembradas en grandes extensiones, donde no se consideró la variabilidad de los suelos, su grado de humedad, el relieve y otras variables que podrían estar afectando la incidencia del desorden.

En este estudio se ajustó los datos del progreso de la PC en el tiempo utilizando seis ecuaciones matemáticas. Las tres primeras corresponden a ecuaciones simples: lineal ($y = b \cdot Yt + a$), donde Yt es la proporción de plantas afectadas en el tiempo ' t ' y b es la pendiente de la ecuación; logarítmica ($y = b \cdot \ln(Yt) + a$) y exponencial ($y = a \cdot e^{b \cdot Yt}$). En esta última ecuación, la velocidad de aumento de la enfermedad, dx/dt o tasa absoluta de aumento de enfermedad, es proporcional a la cantidad de enfermedad anterior. Las otras ecuaciones corresponden al incremento monomolecular, en donde la velocidad de aumento de la enfermedad es proporcional al inóculo inicial y a la tasa. Este modelo ayuda a describir las enfermedades monocíclicas. Para usar el ajuste lineal con el modelo monomolecular, los datos de proporción fueron transformados ($y = \ln(1/1-Yt)$); en donde, Yt es la proporción de palmas enfermas en el mes t y $\ln$ es el logaritmo natural. Con este ajuste, la pendiente equivale a la cantidad de inóculo inicial multiplicado por la tasa de incremento de la enfermedad por unidad de inóculo (Van der Plank 1963).

La ecuación logística ha sido ampliamente usada para describir el progreso de las enfermedades policíclicas. La interpretación biológica indica que la velocidad de aumento de la enfermedad es proporcional a la cantidad de esta y a la cantidad de tejido sano disponible. Para cantidades pequeñas de enfermedad (menos de 5%), el modelo logístico se confunde con el exponencial. Si se grafica la proporción de palmas enfermas (x) con respecto del tiempo (t), se origina una curva en forma de S, conocida como curva logística, la cual es simétrica en torno a $x = 0.5$ (Van der Plank (1963). El ajuste lineal usando el modelo logístico se consigue con la ecuación $y = \ln(Y_t/1-Y_t)$. El valor ' y ' corresponde al logaritmo natural de la proporción de plantas enfermas en el mes actual entre uno menos esa proporción. La pendiente con el ajuste lineal equivale a la tasa de infección.

La otra ecuación utilizada fue la modificación propuesta por Gompertz, que al igual que la ecuación logística, se ha

usado para describir enfermedades policíclicas. La proporción de palmas enfermas respecto al tiempo, muestra incrementos crecientes hasta que se alcanza el punto de inflexión, seguido de incrementos decrecientes que tienden a cero. Esta ecuación origina una curva en forma de S, similar al modelo logístico, pero se diferencia en su crecimiento más acentuado al inicio. El ajuste lineal usando el modelo Gompertz es $y = -\ln(-\ln Y_t)$, en donde ' y ' es el negativo del logaritmo natural del valor negativo del logaritmo natural de la proporción de plantas enfermas en el mes actual (Campbell y Madden 1990).

El presente estudio procura aportar nueva información sobre la naturaleza de la PC en palma aceitera, al evaluar la diversidad de curvas de progreso de este desorden observadas en parcelas experimentales donde ya se conocía parcialmente el efecto del suelo y donde también fue posible analizar el comportamiento de diversos materiales genéticos.

Materiales y métodos

Características del sitio y materiales genéticos. El sitio del estudio se ubica en el Pacífico sur de Costa Rica, en una región situada a una elevación media de 28 msnm. La zona es bastante lluviosa (> 4000 mm anuales de precipitación pluvial), con un periodo menos húmedo que dura tres meses o menos. Durante el periodo entre mayo y noviembre pueden presentarse meses con una lluvia total de 800 mm o más. El suelo es profundo, de origen aluvial, con predominancia de las texturas arcillo-arenosas.

Se evaluó autofecundaciones *dura x dura* (DxD), así como cruces *dura x pisifera* (DxP) y *dura x tenera* (DxT). En algunos casos fue posible separar los efectos paternos y maternos ligados a la PC y relacionarlos con sus descendientes, con el fin de establecer asociaciones hereditarias.

Curvas de progreso y recuperación de la PC. Los datos de incidencia corresponden al periodo entre enero 2011 y abril 2015. Las curvas de progreso de la PC en el tiempo fueron ajustadas con seis ecuaciones, determinando el mejor 'modelo' como aquel con el valor más alto del coeficiente de determinación (R^2).

Se considera como norma, que el modelo o ecuación más simple debe ser preferido sobre cualquier otro que implique la manipulación de los datos para generar un modelo más complicado. Según lo anterior y como ejemplo, una ecuación lineal con un valor muy alto de R^2 debería ser preferida sobre cualquier otra con un valor de R^2 similar, pero de menor utilidad en la interpretación del fenómeno. También se elaboró las curvas promedio por experimento y cruce de las palmas recuperadas (aquellas con más de seis meses consecutivos de no presentar síntomas de PC luego de su recuperación inicial).

En las curvas de incidencia y recuperación acumuladas, se determinó el área bajo la curva de cada una sumando los valores mensuales, lo cual se considera un método apropiado cuando no hay un modelo único para explicar el comportamiento de una enfermedad (Achicanoy 2000). Subsiguientemente, se calculó la diferencia entre ambos valores: la suma del área bajo la curva de incidencia de la enfermedad menos la suma del área bajo la curva de recuperación, lo cual da la magnitud de la afección real de la PC en un momento determinado (entre más alto el valor, mayor la PC actual).

Severidad de la PC. Durante visitas mensuales para determinar la incidencia de la PC, se evaluó también la severidad del ataque en palmas individuales, para lo cual se utilizó una escala con tres grados (Henry et al. 2015):

Palmas sanas: palmas con apariencia normal, tanto en su parte aérea como en el sistema radical, con ausencia de secamientos o pudriciones en las hojas jóvenes y un valor de la sección transversal del peciolo (PxS) con tendencia a ser cada vez mayor en las hojas más jóvenes.

Síntomas leves: palmas con acumulación de hojas flecha, clorosis parcial en algunas hojas jóvenes y secamiento en algunos folíolos y con tendencia a una reducción del valor del PxS en las hojas más jóvenes. Reducción en la densidad y sanidad del sistema radical.

Síntomas avanzados: Palmas con clorosis de parcial a generalizada, secamientos en las hojas jóvenes y pudriciones extensivas en las bases peciolares, que pueden causar la quebradura prematura de las hojas. Las hojas flecha muestran pudriciones extensivas y una clara reducción en el valor del PxS. El sistema radical muestra una reducción significativa en densidad y salud y ocurren ciclos reproductivos discontinuos con tendencia hacia la masculinización.

Las evaluaciones de severidad corresponden únicamente al periodo entre diciembre de 2012 y abril de 2015.

‘Índice de tolerancia’ (IT). A partir de los datos de incidencia y severidad, se calculó un ‘índice de tolerancia’ a la PC, el cual corresponde a la diferencia de las áreas bajo la curva (incidencia acumulada menos recuperación acumulada), multiplicado por el promedio general de severidad de cada cruce. Este índice constituye un buen indicador de la intensidad con que se desarrolla la enfermedad en el tiempo, ya que se relaciona de manera directa con el comportamiento y apariencia general de cada cruce o progenie. El IT tuvo un valor promedio de 2700 (ámbito de 0 a más de 12000), de manera que para obtener mayor claridad se transformó en un ‘índice de tolerancia simplificado’ (ITS) usando una escala entre 1 y 4, donde 1 corresponde a palmas sanas y 4 a las más afectadas:

Valores del índice de tolerancia	Índice de tolerancia simplificado (ITS)
0 - 1200	1
> 1200 y < 2400	2
> 2400 y < 3600	3
> 3600	4

Resultados y discusión

Variación estacional de la PC

La PC es un síndrome complejo que está asociado a factores bióticos y abióticos, en particular con las variaciones en la precipitación pluvial y sus implicaciones sobre la humedad y disponibilidad de oxígeno en el suelo y el deterioro del sistema radical. En las condiciones de la zona de estudio, los primeros casos de PC aparecieron con el inicio de la estación de lluvias. Luego, la enfermedad se estabilizó durante los meses más secos y aumentó durante la siguiente estación lluviosa, hasta alcanzar otro pico durante el tercer ciclo (Fig. 1).

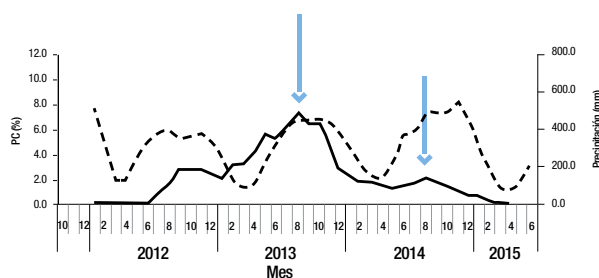


Fig. 1. Variación mensual en el porcentaje de PC (línea sólida) asociado con la precipitación (línea punteada). Los datos de PC fueron resumidos como promedios móviles de cuatro meses (siembra del 2008), incluyendo 500 palmas. Las flechas muestran los tres picos de incidencia de la enfermedad, que normalmente se presentan en palmas jóvenes en los meses de mayor precipitación.

Diversidad de curvas de progreso de la enfermedad

Cuando hay un trastorno como la PC, cuya incidencia y severidad dependen grandemente del ambiente y en el cual pueden intervenir varios patógenos oportunistas (cuya importancia relativa depende de las condiciones ambientales y de la tolerancia del genotipo particular); es posible generar curvas de incremento en el tiempo con diversas formas. El tipo de curva obtenida da una indicación sobre la naturaleza biótica o abiótica de la enfermedad en una condición dada y puede también indicar la existencia de genes que confieren tolerancia al desorden. Esto es ilustrado con varios ejemplos de curvas de progreso de la PC en materiales genéticos diversos.

Cruce testigo

Una progenie DxP fue plantada en el año 2008 en varias clases de suelo, lo que permitió observar el comportamiento de la PC asociado con el sitio. Los suelos fueron agrupados en tres clases, con diferencias en profundidad efectiva, características físicas y aireación (Torres et al. 2014):

Clase 2: suelos aptos para el cultivo de la palma aceitera, de textura media a fina, con pocos moteados pálidos (<10%), aireados, con una conductividad hidráulica de lenta a moderadamente lenta. Permiten un buen desarrollo del sistema radical.

Clase 3: suelos moderadamente aptos para el cultivo de la palma aceitera, con moteados comunes (>30%), que indican la ocurrencia de importantes procesos de oxidación-reducción, por lo que el desarrollo radical es limitado por la oxigenación reducida. La densidad aparente tiende a ser alta y la conductividad hidráulica varía entre moderadamente lenta y muy lenta. Presentan limitaciones para el desarrollo radical.

Clase 4: suelos marginales para el cultivo de la palma, con poca profundidad efectiva (30-50 cm) y predominancia de texturas finas. Evidencian la ocurrencia de fuertes procesos de oxidación-reducción por las constantes fluctuaciones del nivel freático, de modo que el desarrollo radical es limitado por la baja oxigenación. La densidad aparente tiende a ser alta y la conductividad hidráulica varía entre moderadamente lenta y muy lenta.

Las diferencias de suelo afectaron la manifestación de la PC en cuanto a incidencia, tasa de incremento en el tiempo, forma de la curva de la enfermedad, tasa de recuperación y severidad. Todos estos elementos pueden ser expresados en el valor del 'índice de tolerancia simplificado' (*ITS*). Por ejemplo, en los suelos clase 2, el *ITS* promedio fue de 2; mientras que en los suelos clases 3 y 4, el índice fue de 3 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ecuaciones de mejor ajuste e índices de tolerancia a la PC en una progenie DxP altamente susceptible sembrada en diferentes tipos de suelo.

n	Suelo*	Ecuación de mejor ajuste	R ²	Pendiente	IT 1	IT 2	ITS	ITS/suelo
32	2.2	Exponencial	0.9103	na	1329	604	2	1
48	1.9	Logística	0.9413	0,2841	1755	923	2	1
24	1.9	Logística	0.9044	0,3083	1814	955	2	1
36	2.1	Gompertz	0.9338	0,1616	2146	1022	2	1
36	2.1	Logística	0.9727	0,3073	2395	1140	2	1
32	3.0	Logística	0.9641	0,3711	2751	917	3	1
32	3.8	Gompertz	0.9775	0,2107	3299	868	3	1

* Suelo = valor promedio asignado según la clase en una escala de 2 a 4 (ver texto); n = total de plantas del cruce; R² = coeficiente de determinación asociado a la ecuación de mejor ajuste; IT 1 = índice de tolerancia inicialmente estimado; IT 2 = índice de tolerancia original corregido por la clase de suelo (p. ej., en el primer caso, $1329/2.2 = 604$); ITS = índice de tolerancia simplificado; ITS/suelo = índice de tolerancia simplificado una vez corregido el valor de IT según la clase de suelo; na = no aplica por ser modelo exponencial

En la figura dos se ilustra la manera en que varían las curvas según el tipo de suelo (Cuadro 1). Existen al menos tres curvas diferentes: una en forma de S (sigmoidea) (Fig. 3a), otra donde se distinguen tres segmentos, cada uno con tendencia lineal, pero con diferentes pendientes (Fig. 3b), y un tercer caso donde la curva es claramente lineal (Fig. 3c). Además, se nota que la forma de la curva guarda relación con la edad de las palmas en las que aparecieron los primeros casos de la PC: 37, 40 y 46 meses después de la siembra. Tampoco puede obviarse la tendencia de la curva de progreso del desorden a volverse lineal según la condición de suelo y el momento de inicio de la enfermedad (Fig. 3).

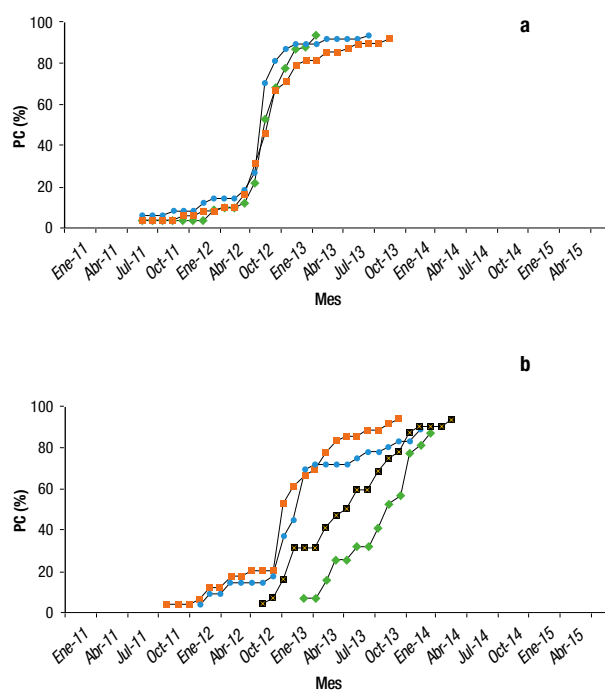


Fig. 2. Curvas de la evolución de la PC en una progenie particular DxP *E. guineensis*, sembrada en diferentes tipos de suelo en junio de 2008. Cada curva corresponde a una parcela de 24 a 48 plantas establecida en sitios diferentes.

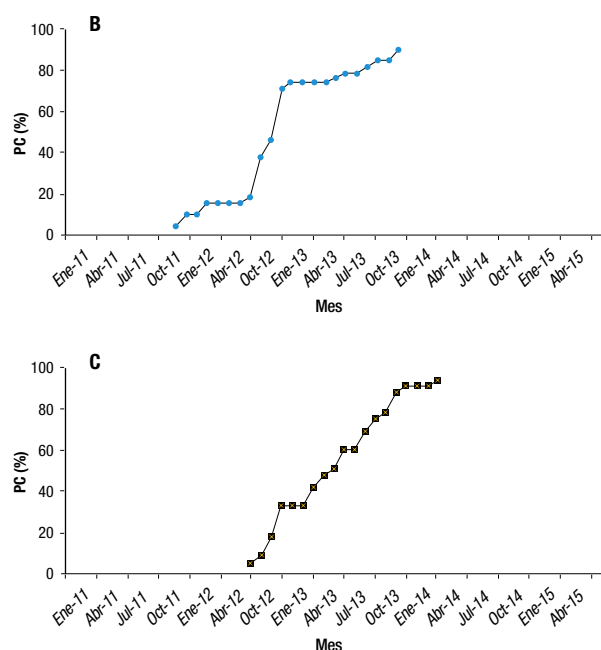
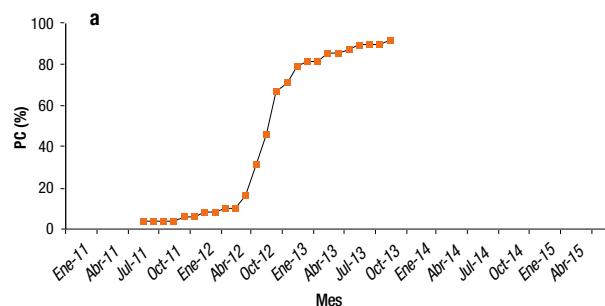


Fig. 3. Curvas de progreso de la PC en una progenie DxP *Elaeis guineensis*, sembrada en diferentes tipos de suelo en junio de 2008: a) curva sigmoidea ($n = 48$, clase de suelo = 1.9), b) curva que presenta tres segmentos con tendencia lineal ($n = 36$, clase de suelo = 2.1), y c) curva con tendencia lineal ($n = 32$, clase de suelo = 3.8). Las desviaciones de la tendencia pueden deberse a un simple error experimental.

En la progenie DxP testigo sembrada en el suelo de peor calidad, el progreso de la PC fue más rápido, la severidad de los síntomas mayor y la recuperación más lenta (*ITS* de 3 en suelos clase 3.0 y 3.8, Fig. 3c). Cuando el *ITS* fue corregido por la calificación dada a la clase del suelo, el valor obtenido fue igual en todos los experimentos ($ITS/suelo = 1$), aunque la progenie fue sembrada en suelos diferentes. Esto se interpreta, como que su comportamiento genético ante la PC es similar y las diferencias observadas en diferentes sitios o suelos, se deben al efecto ambiental sobre la enfermedad (Cuadro 1).

Se estima que, en condiciones marginales de suelo y manejo, una variedad con tolerancia moderada puede perder hasta un tercio de su potencial de producción, tanto debido al efecto agronómico como al impacto de la PC. Es evidente que cuando se hace mejoras agronómicas a un sitio, se logra aliviar los síntomas, acelerar la recuperación de las palmas afectadas y en última instancia, reducir la tasa de incremento de la PC en el tiempo. En el caso de un cruce con alta tolerancia, el impacto del efecto ambiental sobre la respuesta a PC es menor, pero siempre un manejo inadecuado afectará el rendimiento potencial de fruta y aceite y podría exponer a las palmas a otras enfermedades o plagas.

Cruces experimentales susceptibles

La diversidad de curvas de progreso de la PC en diferentes cruces genéticos susceptibles fue muy amplia. En el caso de las tendencias lineales, el R^2 obtenido fue en muchos casos un valor cercano a uno, dejando poca duda de que esta era la tendencia más simple que correspondía al progreso del trastorno en el tiempo (Fig. 4).

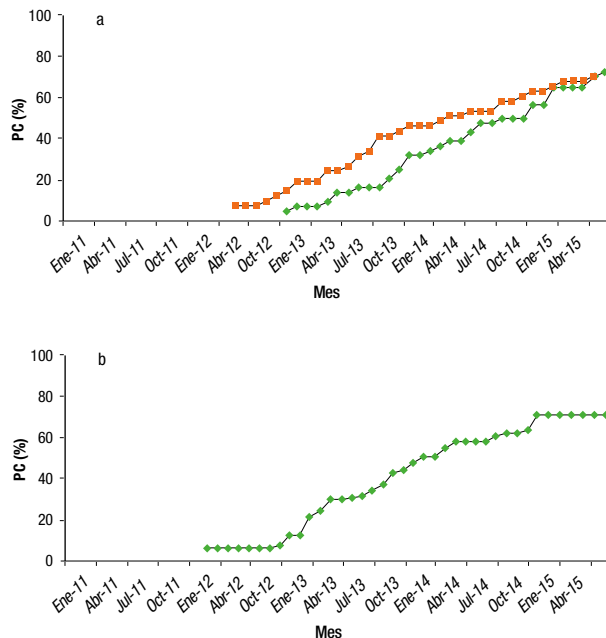


Fig. 4. Curvas de progreso de la PC en dos progenies *dura x tenera* (a) y una autofecundación *dura* (b) sembradas en junio de 2008. Estas curvas, en orden respectivo de arriba a abajo, fueron ajustadas con la ecuación 'monomolecular' ($R^2 = 0.9991$, pendiente = 0.0325), la ecuación de Gompertz ($R^2 = 0.9885$, pendiente = 0.074), y 'monomolecular' ($R^2 = 0.9799$, pendiente = 0.0347).

Otra curva obtenida siguió una tendencia exponencial, pero normalmente acompañada de segmentos estables o con tendencia lineal. En algunos casos, también se obtuvo tendencias del tipo sigmoideo que pudieron ser ajustados a una curva lineal utilizando las transformaciones 'logística' o Gompertz (Fig. 5).

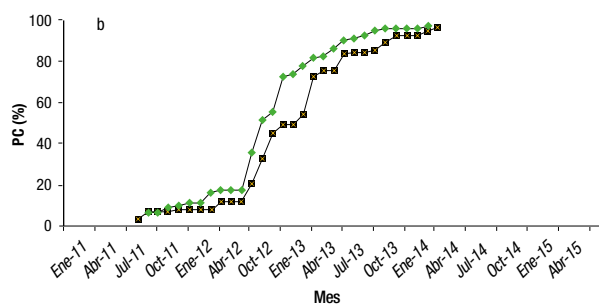
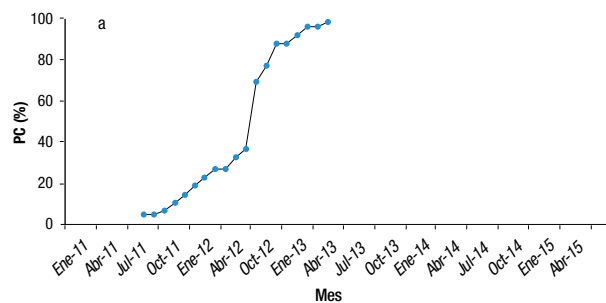


Fig. 5. Curvas de progreso de la PC en una progenie *dura x tenera* (a) y en dos autofecundaciones *dura* (b) sembradas en junio de 2008: a) La curva se ajustó con una ecuación exponencial ($n = 48$, $R^2 = 0.9534$); b) De arriba abajo, las curvas fueron ajustadas con la ecuación logística ($n = 78$, $R^2 = 0.9821$, pendiente = 0.296) y ($n = 96$, $R^2 = 0.977$, pendiente = 0.269).

Al igual que con las curvas del testigo *E. guineensis* (Fig. 2 y 3), existe una tendencia en la curva a convertirse en línea conforme la PC aparece en palmas de más edad, lo que en general está acompañado de una menor severidad en los síntomas y una recuperación más fácil.

Variabilidad dentro poblaciones particulares

Caso 1. La población *dura* Bamenda, introducida a Costa Rica de las tierras altas de Camerún a finales de los años 60, fue una de las primeras donde se observó tolerancia a PC a finales de los años 90 (Chinchilla et al. 2006). No obstante, esa tolerancia no es general en toda la población, sino que se manifiesta en cruces particulares. En dos experimentos sembrados en 2006, se evaluó la respuesta a la PC en cuatro autofecundaciones de palmas *dura* Bamenda y en cuatro progenies DXP en las que se usó el mismo progenitor masculino. Las curvas de progreso de la enfermedad (CPE) y las ecuaciones de mejor ajuste fueron diferentes entre los materiales.

En algunas familias, la CPE se ajustó mejor con una ecuación lineal y en otras con una del tipo exponencial o logístico (Cuadro 2). Las dos familias que mostraron síntomas menos severos tenían tasas bajas de incremento de la enfermedad en el tiempo, comparadas con las dos familias de mayor susceptibilidad. Contrastan las familias con un comportamiento extremo (síntomas poco severos y ajuste monomolecular) y las que mostraron alta severidad de los síntomas y ajuste logístico. A partir de estas familias *dura* se creó progenies DXP que generaron curvas exponenciales y logísticas, cuyo comportamiento concuerda con el del progenitor *dura*; lo cual evidencia el fuerte componente genético en la transmisión de la tolerancia a PC dentro de esta población *E. guineensis* (Cuadro 2 y Fig. 6).

Cuadro 2. Ecuaciones de mejor ajuste de la curva de progreso de la PC en cuatro autofecundaciones <i>dura</i> x <i>dura</i> (D) de origen Bamenda y en sus descendientes DxP.						
Cruce	Origen materno	n	Ecuación	R ²	Pendiente	ITS
Autofecundaciones D Bamenda						
1	20D	204	monomolecular	0,9141	0,0092	1
2	38D	196	exponencial	0,8914	na	2
3	8D	157	exponencial	0,9469	na	4
4	33D	225	logístico	0,969	0,3925	4
Cruces DxP						
1	20D	48	exponencial	0,9538	na	1
2	38D	48	lineal	0,9829	0,0253	2
3	8D	48	logístico	0,978	0,213	4
4	33D	48	logístico	0,9718	0,3179	4

n = total de plantas del cruce, R² = coeficiente de determinación asociado al modelo de mejor ajuste, ITS = índice de tolerancia simplificado; na = no aplica por ser modelo exponencial.

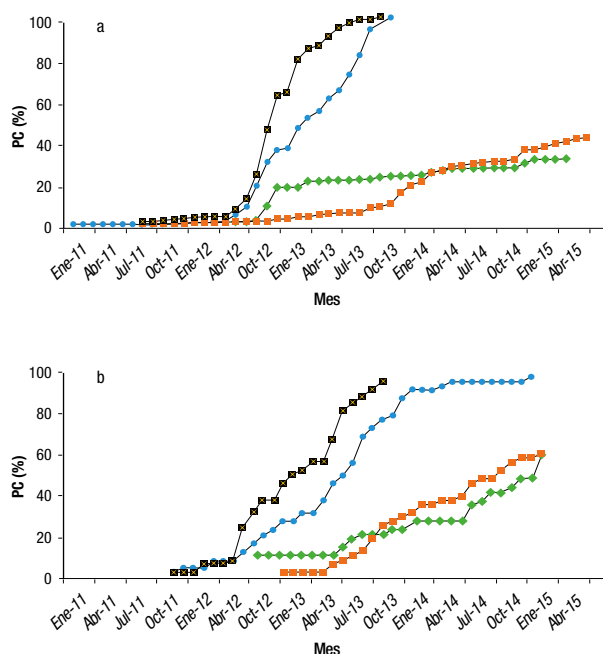


Fig. 6. Curvas de progreso de la PC en cuatro autofecundaciones *dura* de origen Bamenda (a) y cuatro progenies *dura* x *pisifera* (b).

La forma de la curva de progreso de la PC varió dentro de esta población, aún entre familias sembradas en un mismo sitio. En algunos casos, el mejor ajuste de la curva de progreso se obtuvo con una ecuación lineal o monomolecular, lo cual implica la participación de agentes abióticos en la expresión de la PC en palma aceitera.

Caso 2. En otro experimento se sembró cinco autofecundaciones de palmas tenera, cuyas CPE se fueron ajustadas con diferentes ecuaciones. Cuando la severidad visual de los síntomas era baja, las ecuaciones de mejor ajuste fueron de los tipos monomolecular y lineal, mientras que aquellas familias con alta severidad, hubo mejor ajuste con curvas logísticas o Gompertz (Cuadro 3 y Fig. 7).

Cuadro 3. Ecuaciones de mejor ajuste de la curva de progreso de la PC en cinco autofecundaciones tenera x tenera.						
Cruce	Origen	n	Ecuación	R ²	Pendiente	ITS
1	A	55	monomolecular	0,9082	0,0139	1
2	B	49	lineal	0,9370	0,0082	1
3	C	50	Gompertz	0,9788	0,0964	3
4	D	58	Gompertz	0,8890	0,1589	4
5	E	71	logístico	0,9745	0,377	4

n = total de plantas del cruce, R² = coeficiente de determinación asociado al modelo de mejor ajuste, ITS = índice de tolerancia simplificado

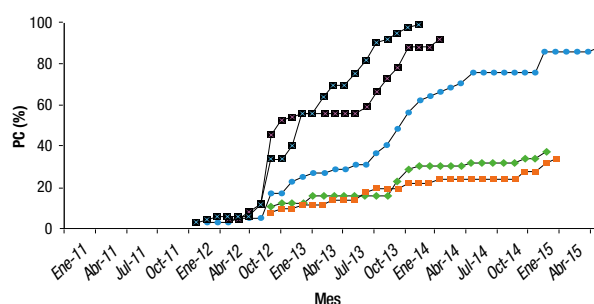


Fig. 7. Curvas de progreso de la PC en cinco autofecundaciones *tenera*, que ilustran la variabilidad en el comportamiento de la PC en el tiempo según el origen genético. Las curvas, de arriba a abajo, corresponden a los orígenes E, D, C, A, B, del cuadro 3.

Dentro de esta población Bamenda, se ha encontrado familias *dura* con alta tolerancia a la PC y la presencia de un componente genético en la transmisión de dicha tolerancia. Esto es bien ilustrado al comparar cuatro familias maternas *dura*, con sus descendientes DxT. Las dos familias *dura* con los valores más bajos del ITS mostraron CPE con la menor tasa de incremento en el tiempo al ser 'linearizadas' (pendiente de 0,0347 y 0,1431). En el otro extremo tenemos las dos familias de mayor afectación, las cuales mostraron un ITS de 4 y pendientes de 0,2691 y 0,296, respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Ecuaciones de mejor ajuste de la curva de progreso de la PC e 'índice de tolerancia' en cuatro autofecundaciones *dura*.

Cruce	Origen materno	n	Ecuación	R ²	Pendiente	ITS
1	36D	116	monomolecular	0,9799	0,0347	1
2	95D	64	Gompertz	0,9560	0,1431	2
3	87D	96	logística	0,977	0,2691	4
4	134D	78	logística	0,9821	0,296	4

n = total de plantas del cruce, R² = coeficiente de determinación asociado al modelo de mejor ajuste, ITS = índice de tolerancia simplificado.

Este comportamiento diverso en las poblaciones *dura*, se ilustra gráficamente en la figura 8.

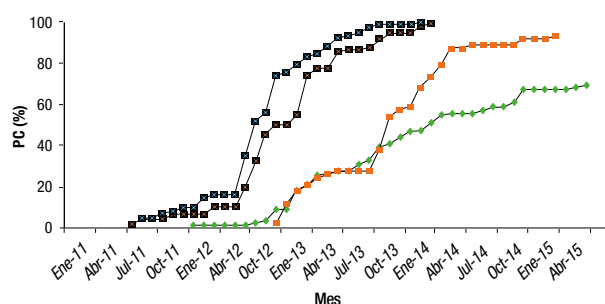


Fig. 8. Curvas de progreso de la PC en cuatro autofecundaciones *dura*, donde se ilustra la variabilidad en el comportamiento de la PC en el tiempo según el origen genético. Las curvas, de arriba a abajo, corresponden a los orígenes 4, 3, 2 y 1, del cuadro 4.

En los cruces DxT donde participan progenitores con diferente grado de respuesta a la PC (Cuadros 3 y 4) y en otras poblaciones puras *E. guineensis*, se observó un componente hereditario en la transmisión de la tolerancia a la PC. En ellos también existe variabilidad en los valores del ITS y en las ecuaciones que mejor ajustan los datos de las curvas de progreso de la enfermedad. Por ejemplo, un cruce en el que la madre tiene un ITS de 1 mostró dominancia al transmitir tolerancia a su progenie, e incluso al ser cruzada con un padre *tenera* muy

susceptible (ITS = 4) la progenie DxT fue poco afectada por la PC (ITS = 2). Algo similar ocurrió con otro cruce que mostró un daño moderado (ITS = 2) por provenir de progenitores de moderada a alta tolerancia (ITS = 2 y 1, respectivamente). Lo opuesto fue observado en aquellas familias en las que los progenitores fueron altamente susceptibles: cuando al combinarlos entre sí originaron progenies DxT igualmente muy susceptibles, cuyo comportamiento ante la PC se ajustó mejor a modelos exponenciales (Cuadro 5 y Fig. 9).

Cuadro 5. Ecuaciones de mejor ajuste de la curva de progreso de la PC y relación del 'índice de tolerancia' de los progenitores con el de sus descendientes en cuatro cruces *dura* x *tenera*.

Exp.	Cruce	n	Madre	ITS	Padre	ITS	ITS DxT	Ecuación	R ²
1	A	32	36D	1	53T	4	2	lineal	0.9706
1	B	32	95D	2	140T	1	2	logístico	0.984
2	C	48	87D	4	43T	4	4	exponencial	0.9144
2	D	48	134D	4	43T	4	4	exponencial	0.9534

Exp. = experimento, n = total de plantas del cruce, ITS = índice de tolerancia simplificado y R² = coeficiente de determinación asociado al modelo de mejor ajuste.

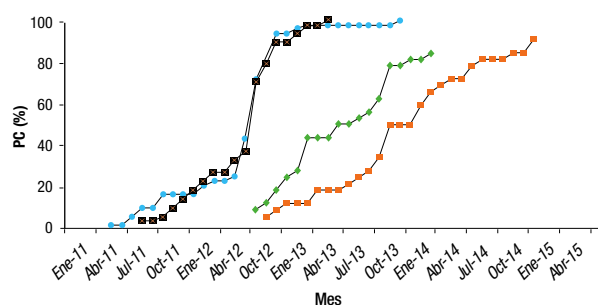


Fig. 9. Curvas de desarrollo de la PC en cuatro cruces *dura* x *tenera*, donde se ilustra la transmisión hereditaria de la enfermedad. Las curvas, de arriba a abajo, corresponden a los cruces C (derecha), D, A, B, del cuadro 5.

Conclusiones

La diversidad de curvas de progreso de la PC obtenidas en los diferentes cruces genéticos fue muy amplia. En algunos casos se obtuvo curvas ajustadas con una ecuación lineal, otras del tipo sigmoideo y algunas en donde se distinguen dos o más segmentos con diferentes tendencias. La tendencia lineal de progreso de la PC no

apoya la idea de un patógeno que se disemina en el tiempo, sino que más bien indica la presencia de un fuerte efecto de factores abióticos que determinan el comportamiento de la PC, como en el caso de los llamados 'declines' (Manion y Lachance 1992).

Las referencias en la literatura sobre 'declines', o deterioro progresivo en poblaciones de plantas de muchas especies es amplia y en todas ellas se hace referencia a interacciones complejas entre factores abióticos y bióticos que predisponen a la planta y/o agravan los síntomas. Los factores comúnmente referidos son aquellos que afectan el desarrollo y mantenimiento de un sistema radical saludable, tales como déficit hídrico, saturación de humedad, suelos poco profundos o con capas compactadas, acumulación de sales, desequilibrios nutricionales, pH inadecuado para el cultivo, cambios bruscos en temperatura, daño mecánico y pérdida de biodiversidad microbiana o aumento en las poblaciones de microorganismos potencialmente patogénicos. La situación se agrava cuando dos o más de estos elementos ocurren simultáneamente o en sucesión, incrementando el estrés sobre la planta; situación que es fácilmente aprovechada por patógenos oportunistas.

Algunos ejemplos de tales 'declines', donde el progreso en el tiempo en el número de plantas afectadas sigue una tendencia lineal o casi lineal son el 'citrus decline', 'avocado decline', 'sweet cherry decline' y 'peach tree short life' (Cummings 1983, Jurkis 2005, Melakeberhan et al. 1993, Ploetz et al. 1996, Ritchie y Clayton 1981). La PC en palma aceitera comparte muchas características con esos problemas, incluyendo el hecho de que varios patógenos (o insectos) oportunistas pueden aprovecharse de una planta sometida a estrés y agravar los síntomas.

Aparte de una tendencia en los casos de PC a agruparse cerca de sitios bajos (mal drenados), Laranjeira et al. (1998) no encontraron evidencia de diseminación siguiendo ninguna dirección particular, ni tampoco que los nuevos casos formaran focos. El trabajo de Bergamin et al. (1997) en Brasil, también concluye que los análisis epidemiológicos del progreso de la PC no indican que pueda existir un posible agente transmisible.

Es importante tener cautela con la interpretación y conclusiones que pueden ser obtenidas mediante el

análisis de las curvas de progreso de un fenómeno como la PC en una población de palmas. Esto es de particular importancia cuando los datos son tomados en parcelas muy grandes y en un grupo genético restringido, como el caso de variedades comerciales que comparten alguno de los progenitores susceptibles. El uso indiscriminado de esas herramientas ha sido cuestionado por diversos autores (Campbell y Madden 1990).

También es importante tener presente, que los términos 'monocíclico' y 'policíclico' se refieren a fenómenos que ocurren dentro del ciclo de un cultivo anual, lo que no es el caso de la palma aceitera. Cuando una epifitía en un cultivo perenne es examinada durante muchos años, tiende a aparecer como policíclica. En el presente estudio, en solo dos a tres años la incidencia alcanzó el máximo en algunos cruces y la tendencia a su aumento se mantuvo lineal. En otros casos, la tendencia en el incremento del desorden se pudo ajustar a otros modelos como el logarítmico, sigmoideo o exponencial, o bien a una serie de 'ciclos' lineales. Las desviaciones de un patrón 'sigmoideo' o monomolecular también ocurren en enfermedades donde el patógeno o patógenos asociados toman ventaja de factores de predisposición, sin los cuales la enfermedad no se presenta o bien ocurre con baja incidencia y severidad. Esto ocurre, por ejemplo, con '*Phytophthora blight*' en viveros de Chile, donde pueden presentarse epifitias en áreas confinadas como consecuencia del anegamiento del suelo por varios días consecutivos (Hord y Ristaino 1992), y también en las curvas casi lineales de las pudriciones en raíces, tallo y mazorcas de maíz asociadas a *Fusarium sp.* (King, 1981).

La presencia de CPE distintas al 'modelo' logístico, en especial las de tipo lineal o monomolecular, muestran que la PC en palma aceitera tiene un importante componente abiótico. Este conocimiento, más la evidencia de la transmisión hereditaria de la enfermedad dentro de *E. guineensis*, impulsará el desarrollo de variedades tolerantes y permitirá diseñar mejores estrategias de manejo agronómico para las plantaciones comerciales.

Literatura

- Achicanoy H. 2000. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. Descripción cuantitativa de las epidemias de las plantas. 53(1):841-968.
- 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.
- Bergamin A., Ferraz F., Amorin L. 1997. Análise temporal e especial de epidemias amarelecimento fatal do dendezeiro. Relatório técnico, 37 p.
- Campbell C., Madden L. 1990. Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley and Sons, New York, 532 p.
- Chinchilla C. Ml. 2008. Las muchas caras de las pudriciones del cogollo en palma aceitera y la importancia de un enfoque integral. ASD Oil Palm Papers, 32: 1-26.
- Cummings J. 1983. Peach tree short life. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108: 596-589.
- Henry J., Gutiérrez M., Torres J., Chinchilla C., Escobar R., Mata R., Arauz F. 2015. Recuperación de palmas aceiteras (*Elaeis guineensis* Jacq.) afectadas por pudriciones del cogollo. ASD Oil Palm Papers, 45: 30-42.
- Hord., M. Ristaino J. 1992. Effect of matric component of soil water potential on infection of pepper seedlings in soil infested with oospores of *Phytophthora capsici*. Phytopathology, 82:792-798.
- Jurkis V. 2005. Eucalipt decline in Australia and a general concept of tree decline and die-back. Forest Ecology and Management, 215: 1-20.
- King, S. B. 1981. Time of infection of maize kernels by *Fusarium monili-forme* and *Cephalosporium acremonium*. Phytopathology 71:769-799.
- Laranjeira F., Amorim L., Bergamin A., Berger R., Hau B. 1998. Análise espacial do amarelecimento fatal de dendezeiro como ferramenta para elucidar sua etiologia. Fitopatol. Brasileira, 23: 397-403.
- Manion T., Lachance D. 1992. Forest decline concepts. APS Press, Minnesota. 249 p.
- Melakeberhan H., Jones A., Sobiczewski P., Bird G. 1993. Factors associated with the decline of sweet cherry trees. Plant Dis. 77: 266-271.
- Navia E., Ávila R., Daza E., Restrepo E., Romero H. 2014. Assessment of tolerance to bud rot in palm under field conditions. Eur. J. Plant Pathol. 140:711-720.
- Ploetz R., Benschel D., Vázquez A., Colls A., Nagel J., Schaffer B. 1996. A re-examination of mango decline in Florida. Plant Dis. 80: 664-668.
- Ritchie D., Clayton C. 1981. Peach tree short life: A complex of interacting factors. Plant Dis. 65: 462-469.
- Swinburne, T. 1993. Fatal yellows, bud rot and spear rot of African oil palm. A comparison of the symptoms of these diseases. The Planter, 69(802): 15-23.
- Torres J., Gutierrez M., Chinchilla C., Mata R. 2014. Características del suelo, desarrollo radical e incidencia de PC (pudrición del cogollo) en palma aceitera. ASD Oil Palm Papers, 43: 1-11.
- Van de Lande H. 1983. Studies on the epidemiology of spear rot in oil palm in Suriname. Thesis. Univ., Wageningen.
- Van der Plank J. E. 1963. Plant Diseases: Epidemics and Control. Academic Press, New York.

Genetic susceptibility (tolerance) and environment (site) determine the shape of the progress curve over time of bud rot (PC) in oil palm (*Elaeis guineensis* J.)

Amancio Alvarado¹, Carlos Ml. Chinchilla², Jeremy Henry, Jesús Rodríguez

Abstract

Bud rot (Spanish acronym PC) in oil palm is a complex disorder characterized by the appearance of chlorosis in some of the young leaves and by partial or extensive drying or rotting of the petiole, rachis and leaflets of the youngest leaves and spears. Published studies on the progress of this disorder in a population of palms refer to observations made in commercial areas with only one or very few varieties. These studies usually did not separate the effects of soil or microclimate and their interactions with the genetics of the planting material. With the hypothesis of a pathogen as the primary cause of PC in mind, it has been pointed out that many of these disturbance progress curves follow a 'logistic model'; which 'proves' the conjecture. The objective of the present work is to document the diversity of PC progress curves, observed in research plots with diverse genetic materials, where the main soil characteristics are known.

The study was conducted in the southern Pacific of Costa Rica. Data on incidence, recovery and severity of PC were collected monthly for approximately four years. The disease progress curves were characterized with six mathematical equations ('models'): linear, logarithmic, exponential, mono-molecular, logistic and Gompertz, and the best fit was chosen according to the highest value of the coefficient of determination (R^2). In addition, a 'tolerance index' (*TI*) was defined, which combines the average incidence, recovery and severity rates in a single datum.

A large variation was found in the shape of the PC progress curves (PPCC) over time, depending on the site where the palms grow. Consequently, the best fit equations were different. In some crosses, there was a better fit of the PPCC with a linear or even 'monomolecular' equation. For other crosses, the best fit was achieved with the 'logistic' or exponential equations. In those cases, in which the onset of the disease was later and in the crosses that showed greater tolerance, a rather linear trend was observed. In addition, a clear hereditary component associated with the behavior of this disease was found.

Obtaining progress curves other than the logistic model, especially those of linear or monomolecular type, shows that PC in oil palm has an important abiotic component. This knowledge, together with evidence of hereditary transmission of tolerance (susceptibility) to the disorder in *E. guineensis* crosses, is a foundation for the development of tolerant varieties and the design of new agronomic management strategies in commercial plantations.

¹ ASD de Costa Rica, P.O. Box 30-1000, San José, Costa Rica; a.alvarado@asd-cr.com

² Consultan for ASD de Costa Rica, cmlchinchilla@gmail.com

Introduction

The disease known as 'bud rot' (PC) and other related disorders of a similar nature, induce a series of symptoms, among which partial 'yellowing' (chlorosis) of young leaves and partial drying and rotting of the petiole, rachis and leaflets of 'spear' leaves usually stand out. The oldest leaves are initially unaffected, but the root system shows deterioration that appears to precede aerial symptoms (Albertazzi et al. 2005, Torres et al. 2014).

The disease progress curve (DPC) integrates the effects of the host, pathogen and environment that occur during an epiphytotic disease. The analysis of the DPC allows a better understanding of the disease and the development of efficient forms of management; however, it should be kept in mind that different events with dissimilar causes may have similar development curves (Van der Plank 1963, Campbell and Madden 1990).

If a biological agent can be associated with the curves of increasing disorder in a plant population, such curves can be divided into those that 'explain' an effective multiplication of the inoculum (polycyclic diseases) and those that are associated with pathogens without an effective multiplication of the inoculum (monocyclic diseases), during a season or crop cycle. Van der Plank (1963) proposed the logistic and monomolecular models to describe polycyclic and monocyclic diseases, respectively. However, when the 'curve' of progress of the disorder in a plant population follows a clearly linear tendency, it can be argued that there is a very important weight of abiotic factors that come into play and leave biotic causes in the background, as is the case of the so-called 'declines' (Manion and Lachance 1992).

The use of mathematical equations to describe a DPC has been a useful tool, but many times abused in the attempt to justify a hypothesis about the existence of a biotic agent. The case of the progress over time of PC in oil palm could be an example of the inadequate use of mathematical equations to describe changes in incidence over time and 'fit' them to the theory of a pathogen, whose presence alone explains the whole range of symptoms that characterize the disorder (Chinchilla 2008, Swinburne 1993).

In the past, an attempt was made to fit the progress curve of PC over time to a mathematical model or equation describing 'logistic' progress, for which the equations proposed by Van der Plank (1963) were used, which have been widely used in studies of various epiphytes (Campbell and Madden 1990, Navia et al. 2014, Van de Lande 1983). A fit to such equations, has been taken as evidence for the existence of a primary pathogen involved as the sole cause of PC. However, in other situations and even with the same data set, different conclusions have been reached (Bergamin et al. 1997, Laranjeira et al. 1998). A possible reason for these disagreements may lie in the low diversity of the genetic materials in which the progress of PC was studied; generally commercial varieties such as Deli x AVROS and Deli x La Mé, planted in large extensions, where the variability of the soils, their moisture content, relief and other variables that could be affecting the incidence of the disorder were not considered.

In this study, we fitted the PC progress data over time using six mathematical equations. The first three correspond to simple equations: linear ($y = b \cdot Yt + a$), where Yt is the proportion of plants affected at time 't' and b is the slope of the equation; logarithmic ($y = b \cdot \ln(Yt) + a$) and exponential ($y = a \cdot e^{b \cdot Yt}$); in the latter, the rate of disease increase, dx/dt or absolute rate of disease increase, is proportional to the amount of previous disease. The other equations correspond to the monomolecular increase, where the rate of increase of the disease is proportional to the initial inoculum and the rate. This model helps to describe monocyclic diseases. To use the linear fit with the monomolecular model, the proportion data were transformed ($y = \ln(1/(1-Yt))$), where Yt is the proportion of diseased palms in month t and $\ln$ is the natural logarithm. With this adjustment, the slope equals the amount of initial inoculum multiplied by the rate of increase of the disease per unit of inoculum (Van der Plank 1963).

The logistic equation has been widely used to describe the progression of polycyclic diseases. The biological interpretation indicates that the rate of disease increase is proportional to the amount of disease and the amount

of healthy tissue available. For small amounts of disease (less than 5%), the logistic model is confused with the exponential model. If the proportion of diseased palms (x) is plotted with respect to time (t), an S-shaped curve originates, known as the logistic curve, which is symmetrical around $x = 0.5$ (Van der Plank 1963). The linear fit using the logistic model is achieved with the equation $y = \ln(Yt/1-Yt)$. The value ' y ' corresponds to the natural logarithm of the proportion of diseased plants in the current month by one minus that proportion. The slope with the linear fit equals the infection rate.

The other equation used was the modification proposed by Gompertz, which, like the logistic equation, has been used to describe polycyclic diseases. The ratio of sick

palms to time shows increasing increments until the inflection point is reached, followed by decreasing increments tending to zero. It originates an S-shaped curve, similar to the logistic model, but differs in its more accentuated growth at the beginning. The linear fit using the Gompertz model is $y = -\ln(-\ln Yt)$; where ' y ' is the negative of the natural logarithm of the negative value of the natural logarithm of the proportion of diseased plants in the current month (Campbell and Madden 1990).

The present study aims to provide new information on the nature of PC in oil palm, by evaluating the diversity of progress curves of this disorder observed in experimental plots planted with various genetic materials, where the main soil characteristics were known.

Materials and methods

Site and genetic material characteristics. The study site is located in the southern Pacific of Costa Rica, in a region located at an average elevation of 28 masl. The area is quite rainy (> 4000 mm annual rainfall), with a less humid period lasting three months or less. During the period between May and November there can be months with a total rainfall of 800 mm or more. The soil is deep, of alluvial origin, with a predominance of sandy-clay textures.

Dura x dura (DxD) selfings were evaluated, as well as *dura x pisifera* (DxP) and *dura x tenera* (DxT) crosses. In some cases, it was possible to separate the paternal and maternal effects linked to PC and relate them to their descendants, in order to establish hereditary associations.

PC progress and recovery curves. The incidence data correspond to the period between January 2011 and April 2015. The PC progress curves over time were fitted with six equations, determining the best 'model' as the one with the highest value of the coefficient of determination (R^2). It is considered a rule that the simplest model or equation should be preferred over

any other that involves manipulation of the data to generate a more complicated model. According to the above and as an example, a linear equation with a very high R^2 value should be preferred over any other with a similar R^2 value, but less useful in the interpretation of the phenomenon. The average curves of the recovered palms (those with more than six consecutive months of no PC symptoms after their initial recovery) were also prepared.

In the cumulative incidence and recovery curves, the area under the curve for each was determined by summing the monthly values, which is considered an appropriate method when there is no single model to explain the behavior of a disease (Achicanoy 2000). Subsequently, the difference between the two values was calculated: the sum of the area under the disease incidence curve minus the sum of the area under the recovery curve, which gives a magnitude of the real incidence of PC at a given moment (the higher the value, the greater the prevalence of PC).

PC severity. During the monthly visits to determine the incidence of PC, the severity of the attack on individual palms was also evaluated using a scale with three grades (Henry et al. 2015):

Healthy palms: palms with normal appearance in both aerial and root parts, with absence of drying or rotting in the young leaves and a petiole cross section value (PxS) with a tendency to be greater in the youngest leaves.

Mild symptoms: palms with an accumulation of spear leaves, partial chlorosis in some young leaves and drying of some leaflets, with a tendency toward a reduction in the PxS value in the youngest leaves. Reduction in the density and health of the root system.

Advanced symptoms: Palms with partial to generalized chlorosis, drying of young leaves and extensive rotting of petiole bases, which may cause premature leaf breakage. The spear leaves show extensive rots and a clear reduction in PxS value. The root system shows a significant reduction in density and health and discontinuous reproductive cycles with a tendency towards masculinization.

Severity assessments correspond only to the period between December 2012 and April 2015.

'Tolerance Index' (TI). From the incidence and severity data, a PC 'tolerance index' was calculated, which corresponds to the difference of the areas under the curve (cumulative incidence minus cumulative recovery), multiplied by the overall average severity of the cross. This index is a good indicator of the intensity with which the disease develops over time, as it is directly related to the general behavior and appearance of a particular cross or progeny. The TI had an average value of 2700 (range from 0 to more than 12000), so for clarity it was transformed into a 'simplified tolerance index' (STI) using a scale between 1 and 4, where 1 corresponds to healthy palms and 4 the most affected:

Tolerance Index	Simplified Tolerance Index (STI)
0 - 1200	1
> 1200 y < 2400	2
> 2400 y < 3600	3
> 3600	4

Results and discussion

Seasonal variation of PC

PC is a complex syndrome that is associated with biotic and abiotic factors, and in particular with variations in rainfall and their implications on soil moisture and oxygen availability and the deterioration of the root system. Under the conditions of the study area, the first cases of PC appeared with the onset of the rainy season. The disease then stabilized during the drier months and increased during the following rainy season, reaching another peak during the third cycle (Fig. 1).

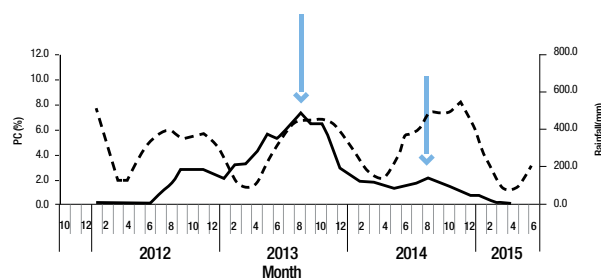


Fig. 1. Monthly variation in percent PC (solid line) associated with rainfall (dotted line). The PC data were summarized as four-month moving averages (2008 planting), including 500 palms. The arrows show the three peaks of disease incidence, which normally occur in young palms in the months of highest rainfall.

Diversity of disease progression curves

When there is a disorder such as PC, whose incidence and severity depend greatly on the environment and in which several opportunistic pathogens (whose relative importance depends on the environmental conditions and the tolerance of the particular genotype) may be involved, it is possible to generate curves of increase over time with various shapes. The type of curve obtained gives an indication of the biotic or abiotic nature of the disease in a given condition and may also indicate the existence of genes conferring tolerance to the disorder. This is illustrated with several examples of PC progress curves in various genetic materials.

Control cross

A DxP progeny was planted in 2008 in various soil types, which allowed observing the behavior of the PC associated with the site. The soils were grouped into three classes, with differences in effective depth, physical characteristics and aeration (Torres et al. 2014):

Class 2: soils suitable for oil palm cultivation, of medium to fine texture, with few faint mottles (<10%), aerated, with a slow to moderately slow hydraulic conductivity. They allow good development of the root system.

Class 3: soils moderately suitable for oil palm cultivation, with common mottling (>30%), indicating the occurrence of important oxidation-reduction processes, so that root development is limited by low oxygenation. Apparent density tends to be high and hydraulic conductivity varies from moderately slow to very slow. They present limitations for root development.

Class 4: marginal soils for palm cultivation, with shallow effective depth (30-50 cm) and predominantly fine textures. They show the occurrence of strong oxidation-reduction processes due to constant fluctuations of the water table, so that root development is limited by low oxygenation. The apparent density tends to be high and hydraulic conductivity varies between moderately slow and very slow.

Soil differences affected the manifestation of PC in terms of incidence, rate of increase over time, shape of the disease curve, recovery rate and severity. All these elements can be expressed in the value of the 'simplified tolerance index' (*STI*). For example, in class 2 soils, the average *STI* was 2; while in class 3 and 4 soils, the index was 3 (Table 1).

Table 1. Best-fit equations and PC tolerance indices in a highly susceptible DxP progeny planted on different soil types.

n	Soil*	Best fit equation	R ²	Slope	<i>T</i> 1	<i>T</i> 2	<i>STI</i>	<i>STI/soil</i>
32	2.2	Exponential	0.9103	na	1329	604	2	1
48	1.9	Logistic	0.9413	0,2841	1755	923	2	1
24	1.9	Logistic	0.9044	0,3083	1814	955	2	1
36	2.1	Gompertz	0.9338	0,1616	2146	1022	2	1
36	2.1	Logistic	0.9727	0,3073	2395	1140	2	1
32	3.0	Logistic	0.9641	0,3711	2751	917	3	1
32	3.8	Gompertz	0.9775	0,2107	3299	868	3	1

* Soil = average value assigned according to the class on a scale of 2 to 4 (see text), n = total number of plants of the cross, R² = coefficient of determination associated with the best-fit equation, *T*1 = initially estimated tolerance index; *T*2 = original tolerance index corrected for soil class (e.g., in the first case, 1329/2.2 = 604); *STI* = simplified tolerance index, *STI/soil* = simplified tolerance index after correction of the *T* value for soil class; na = not applicable because it is an exponential model.

Figure two illustrates the way in which the curves vary according to the soil type (Table 1). There are at least three different curves: one S-shaped (sigmoid) (Fig. 3a), another where there are three segments, each with a linear trend, but with different slopes (Fig. 3b), and a third case where the curve is clearly linear (Fig. 3c). In addition, it is noted that the shape of the curve is related to the age of the palms in which the first PC cases appeared: 37, 40 and 46 months after planting. Nor can the tendency of the disorder progress curve to become linear according to the soil condition and the moment of onset of the disease be ignored (Fig. 3).

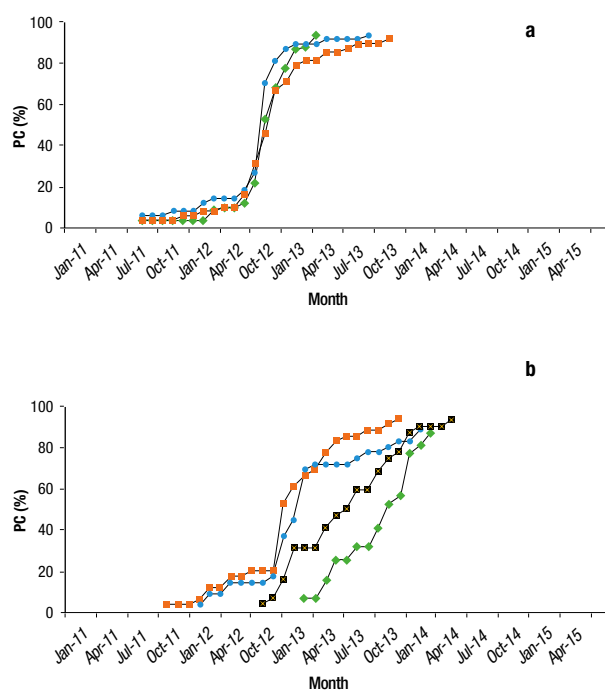


Fig. 2. Curves that characterize the development of PC in a particular DXP progeny, planted in different soil types in June 2008. Each curve corresponds to a particular plot of 24 to 48 plants.

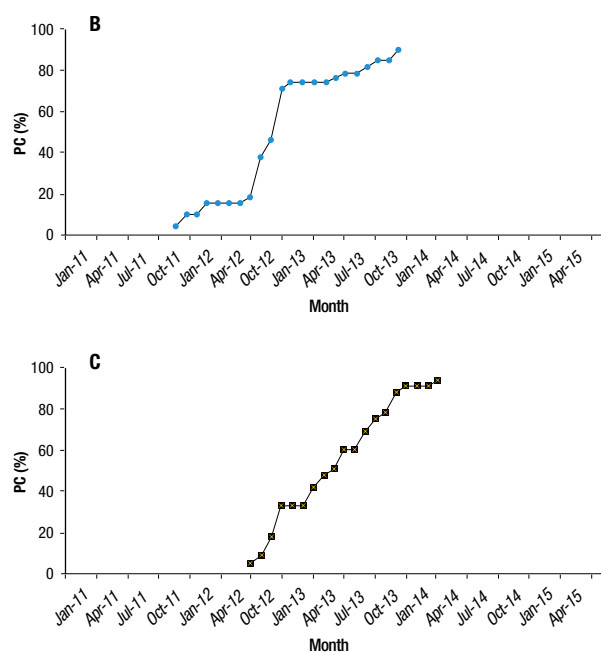
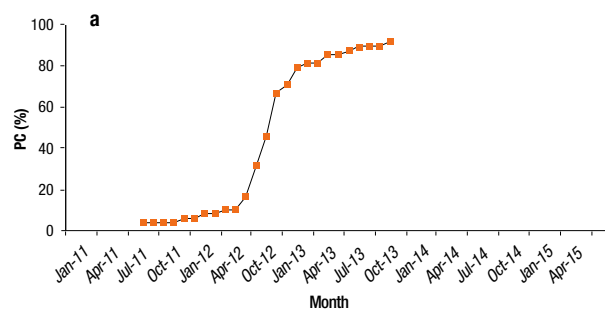


Fig. 3. PC progress curves in a DXP *Elaeis guineensis* progeny, planted in different soil types in June 2008: a) sigmoid curve ($n = 48$, soil class = 1.9), b) curve showing three segments with linear tendencies ($n = 36$, soil class = 2.1), c) curve with linear tendency ($n = 32$, soil class = 3.8). Deviations from the trend may be due to simple experimental error.

The PC progress was faster, the symptoms severity greater and the recovery slower (*STI* of 3 in soils class 3.0 and 3.8, Fig. 3c), in the control DXP progeny planted in the poorer quality soil. When the *STI* was corrected for the rating given to the soil class, the value obtained was the same in all the experiments ($STI/\text{soil} = 1$), although the progeny was growing on different soils. This is interpreted as that their genetic behavior towards PC is similar and the differences observed in different sites or soils are due to the environmental effect on the disease (Table 1).

Very likely a variety with moderate tolerance can lose up to a third of its production potential under marginal soil and management conditions, due to both agronomic and PC effects. It is evident as well that the agronomic improvements made to a site alleviate symptoms, accelerate the recovery of the affected palms and ultimately reduce the PC increase rate over time. In the case of a cross with high tolerance, the environmental effect on the response to PC is lower, but improper management will always affect the potential fruit and oil yield and could expose the palms to other diseases or pests.

Susceptible experimental crosses

The diversity of PC progress curves in different susceptible genetic crosses was very wide. In the case of linear trends, the R^2 obtained was in many cases a value close to one, leaving little doubt that this was the simplest trend that corresponded to the progress of the disorder over time (Fig. 4).

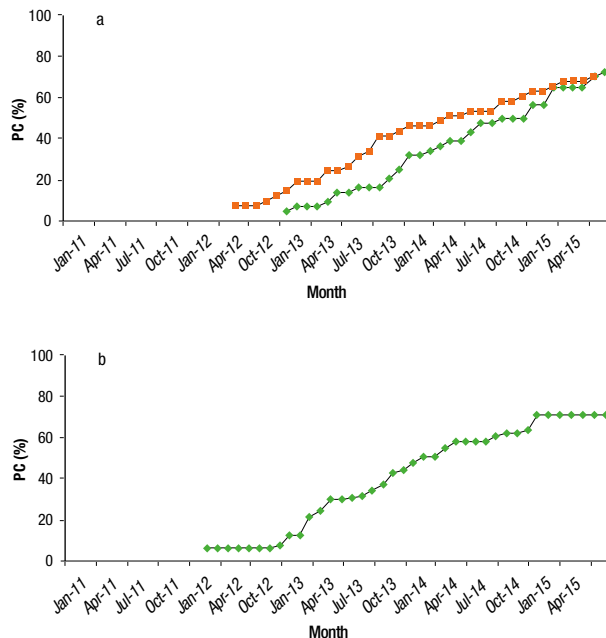


Fig. 4. PC progress curves in two *dura* x *tenera* progenies (a) and a *dura* selfing (b) planted in June 2008. These curves, in respective order from top to bottom, were fitted with the 'monomolecular' equation ($R^2 = 0.9991$, slope = 0.0325), the Gompertz equation ($R^2 = 0.9885$, slope = 0.074), and 'monomolecular' ($R^2 = 0.9799$, slope = 0.0347).

Another curve obtained followed an exponential trend, but usually accompanied by stable segments or with a linear trend. In some cases, trends of the sigmoid type were also obtained that could be fitted to a linear curve using the 'logistic' or Gompertz conversions (Fig. 5).

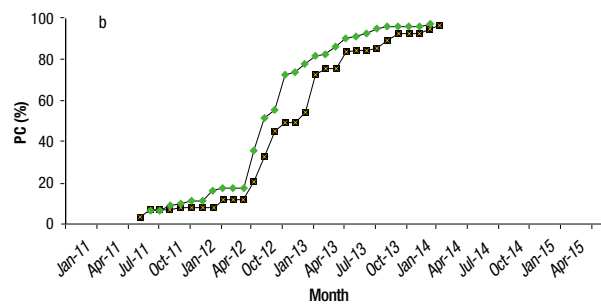
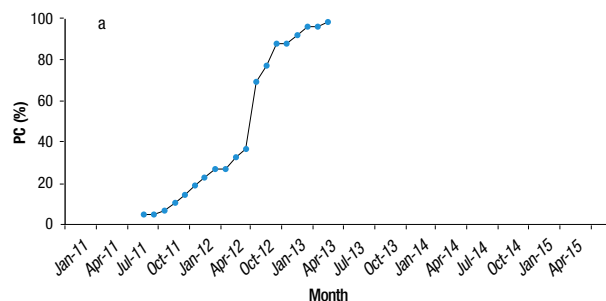


Fig. 5. PC progress curves in a *dura* x *tenera* progeny (a) and two *dura* selfings (b) planted in June 2008: a) The curve was fitted with an exponential equation ($n = 48$, $R^2 = 0.9534$); b) From top to bottom, the curves were fitted with the logistic equation ($n = 78$, $R^2 = 0.9821$, slope = 0.296) and ($n = 96$, $R^2 = 0.977$, slope = 0.269).

As with the curves of the *E. guineensis* control (Fig. 2 and 3), there is a trend in the curve to become a line as PC appears in older palms, which in general is accompanied by less severe symptoms and easier recovery.

Variability within particular populations

Case 1. The Bamenda *dura* population, introduced to Costa Rica from the Cameroonian highlands in the late 1960s, was one of the first where tolerance to PC was seen in the late 1990s (Chinchilla et al. 2006). Although such tolerance is not distinctive in the whole population, it shows up in particular crosses. The response to PC was evaluated in four selfings of Bamenda *dura* palms and four DxP progenies using the same male parent in two trials planted in 2006. The disease progress curves (DPC) and the best fit equations were different between the materials.

The DPC was better adjusted with a linear equation in some families, whereas other families showed a better fit with exponential or logistic equations (Table 2). The two families with less severe symptoms had low disease increase rates over time, compared to the two families with the highest susceptibility. Contrast families with extreme behavior (mild symptoms and monomolecular fit) and those that showed high severity symptoms and logistic fit. DxP progenies produced from these *dura* families generated exponential and logistic curves, whose behavior matches with that of the *dura* parent, which shows a strong genetic component in PC tolerance transmission within this *E. guineensis* population (Table 2 and Fig. 6).

Table 2. Best-fit equations of the PC progress curve in four *dura* x *dura* (D) selfings of Bamenda origin and in their DxP descendants.

Cross	Maternal origin	n	Equation	R ²	Slope	STI
Bamenda D selfings						
1	20D	204	monomolecular	0.9141	0.0092	1
2	38D	196	exponential	0.8914	na	2
3	8D	157	exponential	0.9469	na	4
4	33D	225	logistic	0.969	0.3925	4
DxP crosses						
1	20D	48	exponential	0.9538	na	1
2	38D	48	lineal	0.9829	0.0253	2
3	8D	48	logistic	0.978	0.213	4
4	33D	48	logistic	0.9718	0.3179	4

n = total plants of the cross, R² = coefficient of determination associated with the best-fit equation, STI = simplified tolerance index; na = not applicable because it is an exponential model.

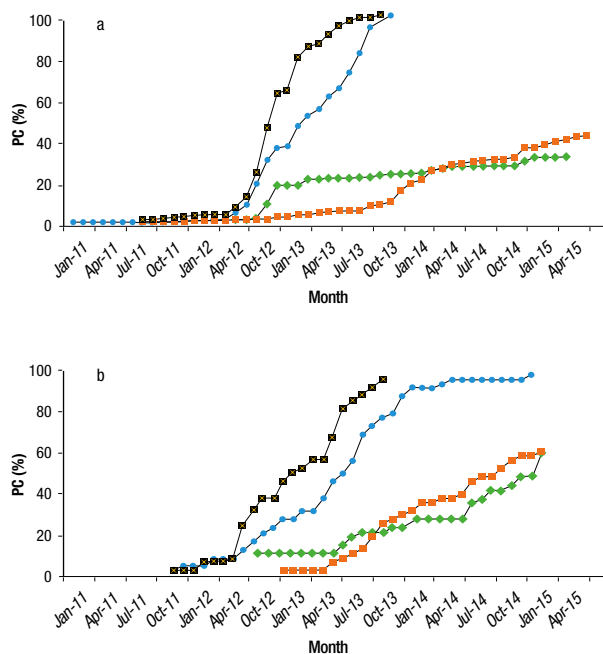


Fig. 6. Progress curves of PC in four *dura* selfings of Bamenda origin (a) and four *dura* x *pisifera* progenies (b).

The shape of the PC progress curve varied within this population, even among families planted in the same site. In some cases, the best fit of the progress curve was obtained with a linear or monomolecular equation, which implies the participation of abiotic agents in the expression of PC in oil palm.

Case 2. Five selfings of tenera palms were planted in another experiment, whose PDCs were fitted with different equations. When there was low visual severity of symptoms, the best-fit equations were of the monomolecular and linear types, while those families with high severity symptoms had a better fit with logistic or Gompertz curves (Table 3 and Fig. 7).

Table 3. Best-fit equations of the PC progress curve in five *tenera* x *tenera* selfings.

Cross	Origen	n	Equation	R ²	Slope	STI
1	A	55	monomolecular	0.9082	0.0139	1
2	B	49	lineal	0.9370	0.0082	1
3	C	50	Gompertz	0.9788	0.0964	3
4	D	58	Gompertz	0.8890	0.1589	4
5	E	71	logistic	0.9745	0.377	4

n = total plants of the cross, R² = coefficient of determination associated with the best-fit equation, STI = simplified tolerance index.

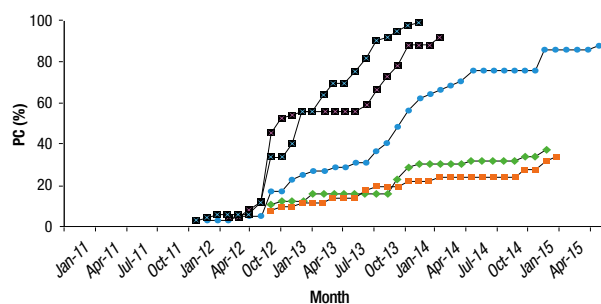


Fig. 7. PC progress curves in five *tenera* selfings, showing the PC behavior variability over time according to genetic origin. The curves, from top to bottom, correspond to the origins E, D, C, A, B, of Table 3.

Within this Bamenda population, *dura* families have been found with high tolerance to PC and the occurrence of a genetic component in the transmission of such tolerance. This is well illustrated by comparing four *dura* families with their DxT descendants. The two *dura* families with the lowest STI values showed a DPC with the lowest rate of increase over time when being 'linearized' (slope of 0.0347 and 0.1431). At the other end, we have the two most affected families, which showed an STI of 4 and slopes of 0.2691 and 0.296, respectively (Table 4).

Table 4. Best-fit equations of the PC progress curve and 'tolerance index' in four <i>dura</i> selfings.						
Cross	Maternal origin	n	Equation	R ²	Slope	STI
1	36D	116	monomolecular	0,9799	0,0347	1
2	95D	64	Gompertz	0,9560	0,1431	2
3	87D	96	logistic	0,977	0,2691	4
4	134D	78	logistic	0,9821	0,296	4

n = total plants of the cross, R² = coefficient of determination associated with the best-fit equation, STI = simplified tolerance index.

This diverse behavior in *dura* populations is graphically illustrated in Figure 8.

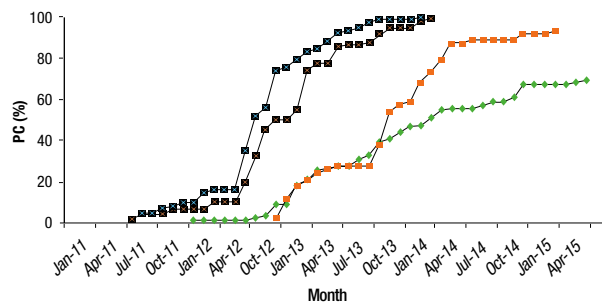


Fig. 8. PC progress curves in four *dura* selfings, illustrating the variability in PC behavior over time according to genetic origin. The curves, from top to bottom, correspond to origins 4, 3, 2 and 1, of Table 4.

In D_xT crosses where parents with different PC response degree participate (Tables 3 and 4) and in other pure *E. guineensis* populations, a hereditary component in the transmission of PC tolerance was observed. In them there is also variability in the STI values and in the equations that best fit the data of the disease progress curves. For instance, a cross in which the mother has an STI of 1, showed dominance when transmitting tolerance to her progeny, and even when crossed with a very susceptible *tenera* father (STI = 4) the D_xT progeny showed low PC

impairment (STI = 2). Something similar happened with another cross that showed moderate damage (STI = 2) because it came from parents with moderate to high tolerance (STI = 2 and 1, respectively). The opposite was observed in those families with highly susceptible parents: when combining them with each other they gave rise to equally highly susceptible D_xT progenies, whose behavior with regard to PC was better fitted to exponential models (Table 5 and Fig. 9).

Table 5. PC progress best-fit equations and the relation of the 'tolerance index' of the parents with that of their descendants in four <i>dura</i> x <i>tenera</i> crosses.									
Exp.	Cross	n	Mother	STI	Father	ITS	STI DxT	Ecuation	R ²
1	A	32	36D	1	53T	4	2	linear	0.9706
1	B	32	95D	2	140T	1	2	logistic	0.984
2	C	48	87D	4	43T	4	4	exponential	0.9144
2	D	48	134D	4	43T	4	4	exponential	0.9534

Exp. = experiment, n = total plants of the cross, STI = simplified tolerance index and R² = determination coefficient associated with the best-fit equation.

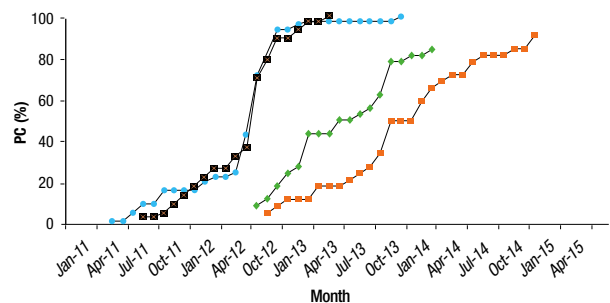


Fig. 9. PC progress curves in four *dura* x *tenera* crosses, typifying the hereditary transmission of the disease. The curves, from top to bottom, correspond to crosses C (right), D, A and B, of Table 5.

Conclusions

The diversity of PC progress curves over time obtained in the different genetic crosses was very wide. In some cases, curves fitted with a linear equation were obtained, others of the sigmoid type, and some in which two or more segments with different trends are distinguished.

The linear trend of PC progress does not support the idea of a pathogen that spreads over time, but rather indicates the presence of a strong effect of abiotic factors that determine the behavior of PC; as in the case of the so-called 'declines' (Manion and Lachance 1992).

References in the literature to 'declines', or progressive deterioration in plant populations of many species is extensive and all of them refer to complex interactions between abiotic and biotic factors that predispose the plant and/or aggravate the symptoms. The factors commonly referred to are those that affect the development and maintenance of a healthy root system, such as water deficit, moisture saturation, shallow or compacted soil layers, salt accumulation, nutritional imbalances, inadequate pH for the crop, sudden changes in temperature, mechanical damage and loss of microbial biodiversity, all of which can lead to an increase in the populations of potentially pathogenic microorganisms. The situation is aggravated when two or more of these elements occur simultaneously or in succession, increasing stress on the plant; a situation that is easily exploited by opportunistic pathogens.

Some examples of such 'declines', where the progress over time in the number of affected plants follows a linear or almost linear trend are 'citrus decline', 'avocado decline', 'sweet cherry decline' and 'peach tree short life' (Cummings 1983, Jurkis 2005, Melakeberhan et al. 1993, Ploetz et al. 1996, Ritchie and Clayton 1981). PC in oil palm shares many characteristics with these problems, including the fact that several opportunistic pathogens (or insects) can take advantage of a stressed plant and aggravate symptoms.

Apart from a tendency for PC cases to cluster near low (poorly drained) sites, Laranjeira et al. (1998) found no evidence of dissemination following any particular direction, nor that new cases formed foci. The work of Bergamin et al. (1997) in Brazil also concludes that epidemiological analyses of the progress of PC do not indicate the existence of a possible transmissible agent.

It is important to be cautious with the interpretation and conclusions that can be obtained by analyzing the

progress curves of a phenomenon such as PC in a palm population. This is of particular importance when the data are taken in very large plots and in a restricted genetic group, as in the case of commercial varieties that share some of the susceptible parents. The indiscriminate use of these tools has been questioned by several authors (Campbell and Madden 1990).

It is also important to keep in mind that the terms 'monocyclic' and 'polycyclic' refer to phenomena that occur within the cycle of an annual crop, which is not the case of oil palm. When an epiphytotic disease in a perennial crop is examined over many years, it tends to appear as polycyclic. In the present study, the maximum incidence was reached in only two to three years, and the trend of its increase was linear throughout the period in some crosses. Deviations from a 'sigmoidal' or monomolecular pattern also occur in diseases where the associated pathogen(s) take advantage of predisposing factors, without which the disease does not occur or occurs with low incidence and severity. This is the case, for example, with '*Phytophthora blight*' in chile nurseries, where *epiphytotic diseases* occurred in confined areas as a consequence of waterlogging of the soil for several consecutive days (Hord and Ristaino 1992); and also in the almost linear curves of rots in roots, stem and ears or corn associated with *Fusarium sp.* (King, 1981).

The presence of progress curves other than the logistic 'model', especially those of linear or monomolecular type, show that PC in oil palm has an important abiotic component. This knowledge, plus the evidence of the hereditary transmission of the disease within *E. guineensis*, will drive the development of tolerant varieties and will allow the design of better agronomic management strategies for commercial plantations.

Literature

- Achicanoy H. 2000. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. Descripción cuantitativa de las epidemias de las plantas. 53(1):841-968.
- 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.
- Bergamin A., Ferraz F., Amorin L. 1997. Análise temporal e especial de epidemias amarelecimento fatal do dendezeiro. Relatório técnico, 37 p.
- Campbell C., Madden L. 1990. Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley and Sons, New York, 532 p.
- Chinchilla C. Ml. 2008. Las muchas caras de las pudriciones del cogollo en palma aceitera y la importancia de un enfoque integral. ASD Oil Palm Papers, 32: 1-26.
- Cummings J. 1983. Peach tree short life. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108: 596-589.
- Henry J., Gutiérrez M., Torres J., Chinchilla C., Escobar R., Mata R., Arauz F. 2015. Recuperación de palmas aceiteras (*Elaeis guineensis* Jacq.) afectadas por pudriciones del cogollo. ASD Oil Palm Papers, 45: 30-42.
- Hord., M. Ristaino J. 1992. Effect of matric component of soil water potential on infection of pepper seedlings in soil infested with oospores of *Phytophthora capsici*. Phytopathology, 82:792-798.
- Jurkis V. 2005. Eucalipt decline in Australia and a general concept of tree decline and die-back. Forest Ecology and Management, 215: 1-20.
- King, S. B. 1981. Time of infection of maize kernels by *Fusarium monili-forme* and *Cephalosporium acremonium*. Phytopathology 71:769-799.
- Laranjeira F., Amorim L., Bergamin A., Berger R., Hau B. 1998. Análise espacial do amarelecimento fatal de dendezeiro como ferramenta para elucidar sua etiologia. Fitopatol. Brasileira, 23: 397-403.
- Manion T., Lachance D. 1992. Forest decline concepts. APS Press, Minnesota. 249 p.
- Melakeberhan H., Jones A., Sobiczewski P., Bird G. 1993. Factors associated with the decline of sweet cherry trees. Plant Dis. 77: 266-271.
- Navia E., Ávila R., Daza E., Restrepo E., Romero H. 2014. Assessment of tolerance to bud rot in palm under field conditions. Eur. J. Plant Pathol. 140:711-720.
- Ploetz R., Benscher D., Vázquez A., Colls A., Nagel J., Schaffer B. 1996. A re-examination of mango decline in Florida. Plant Dis. 80: 664-668.
- Ritchie D., Clayton C. 1981. Peach tree short life: A complex of interacting factors. Plant Dis. 65: 462-469.
- Swinburne, T. 1993. Fatal yellows, bud rot and spear rot of African oil palm. A comparison of the symptoms of these diseases. The Planter, 69(802): 15-23.
- Torres J., Gutierrez M., Chinchilla C., Mata R. 2014. Características del suelo, desarrollo radical e incidencia de PC (pudrición del cogollo) en palma aceitera. ASD Oil Palm Papers, 43: 1-11.
- Van de Lande H. 1983. Studies on the epidemiology of spear rot in oil palm in Suriname. Thesis. Univ., Wageningen.
- Van der Plank J. E. 1963. Plant Diseases: Epidemics and Control. Academic Press, New York.

Ablación, rendimiento y sanidad en clones y variedades de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) de alta precocidad

Henry Jeremy, Alvarado Amancio¹, Abarca Danilo

Resumen

En octubre de 2011 se inició dos ensayos de campo en el Pacífico Sur de Costa Rica (precipitación pluvial mensual promedio = 330 mm). En el ensayo I, en un lote comercial de 34 hectáreas de la variedad Compacta x Ghana, se hizo un tratamiento de ablación y se dejó un testigo (sin ablación) para compararlo. En el ensayo II, los mismos tratamientos fueron usados en tres clones 'compactos' sembrados en parcelas de 16 palmas cada una.

La producción de inflorescencias femeninas comenzó cuando las palmas cumplieron 16 meses de edad y a partir de ese momento se realizó ablación mensual, durante 6 meses. La información de campo fue tomada entre junio de 2012 y setiembre de 2015. Se midió el crecimiento vegetativo de las palmas a los 8 y 12 meses después de concluida la ablación y se registró la producción de fruta fresca mensualmente. Nueve meses después de concluida la ablación se estimó la composición del racimo y el contenido de aceite en los mismos. La condición sanitaria de las palmas fue evaluada mensualmente.

Las palmas con ablación produjeron más fruta y mostraron mayor altura del tronco que las del testigo ($P < 0.05$). Sin embargo, el contenido de aceite del racimo, la longitud de la hoja y la sección transversal del peciolo (PxS), no parecen haber sido afectados significativamente. Durante la estación lluviosa de 2013 (promedio mensual de 450 mm), hubo un aumento en la incidencia de pudriciones de cogollo en ambos ensayos, pero este fue un poco menor en las parcelas con ablación (14 y 10 % menor). La tasa de recuperación de los síntomas, la cual es evaluada regularmente en la región, no fue determinada en los ensayos.

El aumento en la producción de fruta asociado con la ablación en la variedad Compacta x Ghana, incrementó la rentabilidad en \$390/ha durante el primer año de cosecha (ensayo I). En el ensayo II, la producción se registró durante cuatro años y en ese tiempo la ablación generó un incremento de \$1610/ha. El costo de la ablación durante los seis meses fue estimado en \$90/ha.

La labor de ablación aumentó la rentabilidad del cultivo y contribuyó a reducir la incidencia del trastorno denominado 'pudrición del cogollo', el cual es conocido en Costa Rica como 'flecha seca'.

Palabras clave: palma aceitera, ablación, PC, flecha seca.

¹ ASD de Costa Rica, a.alvarado@asd-cr.com

Introducción

La ablación consiste en remover los racimos en formación y las inflorescencias inmaduras, particularmente las femeninas. El objetivo de efectuar esta práctica al inicio de la etapa reproductiva, es estimular el crecimiento vegetativo mediante el envío de más asimilados al tronco y las raíces (Corley y Breure 1992). Con la ablación se elimina los primeros racimos, los cuales son pobremente polinizados, de bajo peso y bajo contenido de aceite (Nazeeb et al. 1988).

En variedades muy precoces, la producción de inflorescencias femeninas inicia a los 12-15 meses de edad. Esa alta precocidad genera un desgaste energético

en las plantas y no tiene mayor beneficio comercial por el bajo peso y pobre contenido de aceite en los racimos, y más bien podría predisponer a las palmas a sufrir estrés ante una condición ambiental desfavorable. En el Pacífico Sur de Costa Rica, ya se ha documentado la relación que existe entre la saturación del suelo con agua durante la estación lluviosa y la aparición de pudriciones del cogollo.

El objetivo de este estudio es determinar el impacto de la ablación temprana sobre la producción futura de fruta y aceite, el crecimiento vegetativo y la sanidad, en palmas aceiteras de varios genotipos de crecimiento reducido.

Materiales y métodos

Los ensayos fueron realizados en una plantación comercial de palma aceitera localizada en el Pacífico Sur de Costa Rica. El clima en esa zona es lluvioso con influencia monzónica (Solano y Villalobos 2000). Entre los años 2010 y 2014 la precipitación pluvial anual fue de 4,650 mm. Los periodos más lluviosos ocurrieron entre mayo y noviembre, con precipitaciones mensuales de 600 mm o más. El suelo es de origen aluvial, con predominancia de texturas arcillo-arenosas.

Los tratamientos fueron realizados en un lote de 34 hectáreas de la variedad Compacta x Ghana (Ensayo I) y en parcelas de observación de tres clones de crecimiento reducido, junto con la variedad *E. guineensis* Deli x Nigeria (Ensayo II).

La información de campo fue tomada entre junio de 2012 y setiembre de 2015, tiempo que incluyó dos épocas con menos lluvia (noviembre 2012 - abril 2013: promedio mensual de 160 mm y diciembre 2013 - abril de 2014: promedio mensual de 140 mm). Durante el periodo lluvioso intermedio (mayo-noviembre de 2013) se registró un promedio de 450 mm/mes.

Ensayo I:

Se incluyó palmas de 16 meses de edad de la variedad

Compacta x Ghana, sembradas en el año 2010 a una densidad de 160 palmas por hectárea. Se usó dos tratamientos, T1 = ablación y T2 = testigo, en un diseño completamente al azar sobre 20 'centros de cosecha'. Cada tratamiento fue ubicado en 10 centros de cosecha (1.7 ha/centro). La ablación fue realizada mensualmente durante seis meses, entre octubre 2011 y marzo 2012 (16 a 21 meses de edad). La cosecha de racimos de fruta fresca fue iniciada en enero de 2013.

Ensayo II:

Se incluyó palmas de 16 meses de edad de tres clones: Opal, Sunrise y Tornado y de la variedad comercial de origen *E. guineensis* Deli x Nigeria. Las palmas fueron sembradas en el año 2010 a una densidad de 160 palmas por hectárea, en un lote con parcelas de 16 palmas cada una (seis palmas en la parcela útil, considerando cada palma como una repetición). El diseño experimental usado fue un arreglo completamente al azar con estructura factorial 3x4, en donde los tres tratamientos (con seis repeticiones): T1) ablación, T2) polinización asistida y T3) testigo, fueron aplicados en los cuatro materiales de siembra, según se indica a continuación: T1 = Ablación, desde octubre de 2011 a marzo de 2012 (16 a 21 meses de edad). La cosecha fue iniciada cinco meses después de finalizada la ablación en agosto de 2012, cuando las palmas tenían 26 meses de edad.

T2 = Polinización asistida¹, desde octubre de 2011 a marzo de 2012 (16 a 21 meses de edad). La cosecha de los racimos originados de inflorescencias con polinización asistida fue iniciada a los 20 meses de edad, en febrero de 2012; a estos se sumó los racimos jóvenes cosechados previamente que ya se encontraban en formación, los cuales maduraron entre noviembre de 2011 y enero de 2012.

T3 = Testigo (sin ablación ni polinización asistida). La cosecha de los primeros racimos fue iniciada a los 22 meses de edad, en abril de 2012, cuando la calidad de los racimos cumplía con el criterio utilizado comercialmente.

Variables vegetativas, de producción y de sanidad

Producción. En el ensayo I se registró la producción mensual de racimos de fruta fresca (t/ha) entre enero y diciembre de 2013. En el ensayo II, se documentó la producción mensual de racimos de fruta fresca según lo cosechado en las seis palmas de cada tratamiento, durante el periodo de abril de 2012 a setiembre de 2015.

Análisis del racimo. Se estimó la composición del racimo y el contenido de aceite en una muestra de 20 racimos por tratamiento, nueve meses después de finalizada la ablación cuando las palmas tenían 30 meses de edad.

Crecimiento. Se midió la altura del tronco (desde la superficie del suelo a la base de la hoja No. 41), la longitud de la hoja y la sección transversal del peciolo

(PxS) de la hoja No. 9, a los 8 y 12 meses después de terminada la ablación (29 y 33 meses de edad, respectivamente).

Sanidad. En el ensayo I se evaluó la incidencia mensual de pudriciones del cogollo² desde los 24 meses de edad (junio de 2012) hasta los 50 meses de edad (setiembre de 2014). En el ensayo II se mantuvo el registro durante 20 meses, de enero de 2013 a setiembre de 2014. La tasa de recuperación de los síntomas no fue determinada, pero lo normal es que en la región donde se hizo el estudio la mayoría de las palmas afectadas se recupera luego de algún tiempo de mostrar síntomas.

Análisis e interpretación de los datos

En el ensayo I se analizó las variables de crecimiento, la producción de fruta fresca y el contenido de aceite en el racimo, mediante una prueba de *t*, en donde las medias de los tratamientos T1 (ablación) y T2 (testigo) fueron comparadas a un nivel de significancia de $P < 0.05$.

En el análisis de la varianza en el ensayo II se consideró tres fuentes de variación: genotipo, tratamientos y la interacción material x tratamiento. La significancia de la diferencia entre medias de los cuatro materiales y de la interacción material x tratamiento se verificó mediante el método de la diferencia mínima significativa (dms), mientras que, entre los tres tratamientos se realizó un análisis de varianza utilizando la comparación múltiple de todos los pares de medias con la prueba de DGC ($P < 0.05$).

Resultados y discusión

Ensayo I. La ablación tuvo un efecto significativo sobre el número de racimos producidos por palma. El efecto fue más notable en los tres picos de producción observados en la variedad Compacta x Ghana, en enero, mayo y julio de 2013. En promedio se cosechó un racimo más por mes en las palmas con ablación (Fig. 1a).

El aumento del peso promedio del racimo en el tiempo,

fue mayor en las palmas con ablación. La mayor diferencia con respecto al testigo se observó durante la estación lluviosa (mayo a noviembre) del año 2013. A continuación, en diciembre, el peso del racimo fue similar entre el tratamiento con ablación y el testigo (Fig. 1b). El efecto de la ablación sobre los componentes del racimo se extendió por un periodo de un año.

¹ Para obtener una mejor formación en los racimos jóvenes que por lo general poseen una baja proporción de frutos fértiles. La polinización se hizo con una mezcla de 1 a 2 g de polen y 5 g de talco inerte que se aplicó sobre inflorescencias en antesis como complemento a la polinización natural.

² La PC en Costa Rica es conocida como 'flecha seca', pues ocurren secamientos en las hojas flechas (además de los otros síntomas asociados a la PC), pero la mayoría de las plantas recupera eventualmente su potencial productivo.

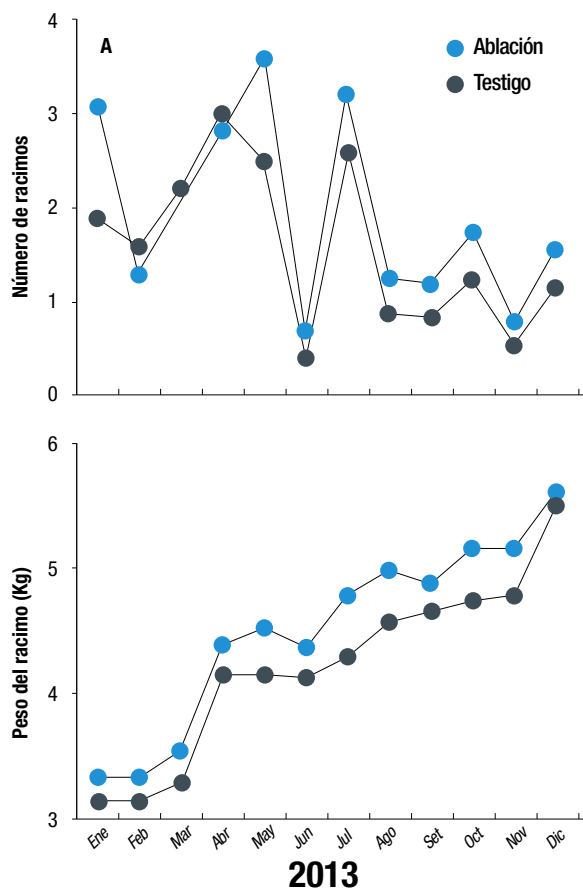


Fig. 1. Variación mensual del número de racimos producidos por palma (A) y del peso promedio del racimo (B), en palmas de la variedad Compacta x Ghana de 30 meses de edad, con y sin ablación.

El incremento en el número de racimos durante los tres picos de producción (enero, mayo y julio de 2013), pudo deberse a una menor tasa de aborto de inflorescencias en las palmas con ablación (Corley y Breure 1992, Legros et al. 2009). La ablación permite la acumulación de reservas de carbohidratos en el tronco, las cuales ayudan a las palmas a tolerar mejor periodos de estrés hídrico al momento de la diferenciación sexual, la cual ocurre entre 10 y 20 meses antes. La ablación también aumenta la producción de inflorescencias femeninas como resultado del incremento en la tasa de emisión de hojas, ya que se acorta el periodo que transcurre entre la emisión de las hojas y el inicio de la antesis en las inflorescencias femeninas (Pallas et al. 2013).

El peso promedio de los frutos fértiles (10.7 g con ablación vs. 9.4 g en el testigo), explica en parte el aumento en el peso promedio del racimo. Otros componentes del racimo (proporción de frutos fértiles y

el contenido de aceite) no fueron afectados significativamente por el tratamiento de ablación (cuadro 1). Estos resultados difieren de los obtenidos por Pallas et al. (2013), quienes asociaron el mayor peso del racimo del tratamiento de ablación con el mayor número de frutos por racimo y no con las variaciones en el peso que estos presentaron.

Cuadro 1. Componentes del racimo en los tratamientos de ablación y testigo en palmas de la variedad Compacta x Ghana.								
Tratamiento	Peso	F.F	F.P	F.B	W.F	M/F	A/M	A/R
Ablación	4.0	60.3	9.8	66.8	10.7	80.0	39.3	25.5
Testigo	3.7	58.3	9.6	66.8	9.4	82.0	42.7	27.4
Diferencia entre medias	0.3 *	2.0 n.s.	0.2 n.s.	0.0 n.s.	1.3 *	2.0 n.s.	3.4 n.s.	1.2 n.s.

Prueba de *t* (n.s.: diferencias no significativas, * significativas) entre medias, $P \leq 0.05$. Peso = peso promedio del racimo; F.F = frutos fértiles, %; F.P = frutos partenocárpicos, %; F.B = frutos totales en el racimo, %; W.F = peso promedio del fruto, gramos; M/F = mesocarpio en el fruto, %; A/M = aceite en el mesocarpio, %; A/R = contenido de aceite en el racimo, %.

Como consecuencia del aumento en el número y peso promedio de los racimos durante los primeros 12 meses de cosecha en las plantas con ablación, la producción acumulada de fruta fresca del primer año fue de 14.6 t/ha para el tratamiento de ablación (4 toneladas por encima del testigo) (cuadro 2). Considerando que el aceite en el racimo fue similar en ambos tratamientos, se estimó que el tratamiento de ablación produjo 0.8 toneladas más de aceite por hectárea que el testigo durante el primer año de cosecha (Cuadro 2).

Cuadro 2. Producción de fruta fresca y de aceite en el racimo en los tratamientos de ablación y testigo aplicados en palmas de la variedad Compacta x Ghana.					
Tratamiento	Producción	Número de racimos	Peso del racimo	AR	A/ha
	(t/palma/año)	(N° palmas/mes)	(Kg)	(%)	(t/ha/año)
Ablación	14.6	1.9	4.0	25.5	3.7
Testigo	10.7	1.6	3.7	27.4	2.9
Diferencia entre medias	3.9 *	0.4 *	0.3 *	1.9 n.s.	0.8 *

Prueba de *t* con diferencias estadísticamente no significativas (n.s.) y significativas (*) entre las medias del tratamiento de ablación y el testigo con $P \leq 0.05$. AR= aceite en racimo; A/ha = aceite/ha.

Un año después de terminada la ablación, la altura del tronco de esas palmas fue 12 cm mayor que la de las palmas del testigo ($P \leq 0.05$). La longitud de las hojas y el área transversal del peciolo (PxS), no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Altura del tronco, longitud de la hoja y área transversal del peciolo (PxS) de la hoja No. 9 en ambos tratamientos, evaluados a los 8 y 12 meses después de terminada la ablación						
Tratamiento	Altura del tronco (cm)		Logitud de la hoja		PxS (cm ²)	
	8	12	8	12	8	12
Ablación	107	184	267	402	3.6	6.1
Testigo	104	172	261	391	3.5	5.9
Diferencia entre medias	3 n.s.	12 *	6 n.s.	11 n.s.	0.1 n.s.	0.2 n.s.

Prueba de *t* con diferencias estadísticamente no significativas (n.s.) y significativas (*) entre las medias del tratamiento de ablación y el testigo con $P \leq 0.05$.

La ablación tiene un efecto significativo sobre el crecimiento vegetativo (Corley y Breure, 1992; Henry et al. 2015; Legros et al. 2009). La partición de asimilados ocurre entre procesos antagónicos, pero complementarios: el crecimiento vegetativo, la producción de racimos de fruta fresca y los mecanismos de defensa contra factores bióticos y abióticos negativos. El menor crecimiento vegetativo observado en el testigo es consecuencia de la producción inicial de racimos, pero ese gasto energético inicial no ocurrió en las plantas con ablación. La mayor acumulación inicial de reservas en las plantas con ablación, pudo también ayudar a la planta a soportar el estrés asociado con la incidencia de un trastorno como la pudrición de cogollo, que fue mayor en el tratamiento testigo. Estas diferencias se hicieron más notables durante la estación lluviosa de 2013 (mayo a noviembre, precipitación promedio = 450 mm), cuando la incidencia en el tratamiento de ablación fue 10 % menor.

Nuevamente, en la estación lluviosa de 2014 (mayo a setiembre, precipitación promedio = 513 mm), la incidencia de pudriciones del cogollo fue menor en el tratamiento de ablación (10% menos). Sin embargo, en setiembre de 2014, la incidencia de ese trastorno fue similar en ambos tratamientos, lo cual podría indicar que el efecto de la ablación (durante seis meses) sobre la pudrición del cogollo, solo se mantiene por aproximadamente 18 meses. No obstante, no se determinó el efecto sobre la tasa de recuperación de los síntomas.

Ensayo II

Las diferencias en crecimiento, producción y contenido de aceite fueron significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos (ablación, polinización asistida y testigo). No hubo efecto en las interacciones. En el primer año de cosecha (2012), el tratamiento de ablación tuvo menor producción de fruta con respecto a los de polinización asistida y el testigo, como era de esperarse. Durante el segundo año de cosecha (2013), la mayor producción se obtuvo en las palmas con ablación (30 t/ha vs 25 t/ha en el testigo). En el año siguiente (2014) la diferencia aumentó a 7.7 toneladas en favor de la ablación, mientras que al cuarto año la producción de fruta fresca fue similar en los tres tratamientos (Fig. 2). La producción acumulada de racimos de fruta fresca hasta el cuarto año fue significativamente mayor en el tratamiento de ablación (73.7 t/ha vs. 62.5 t/ha con polinización asistida y 56.9 t/ha en el testigo).

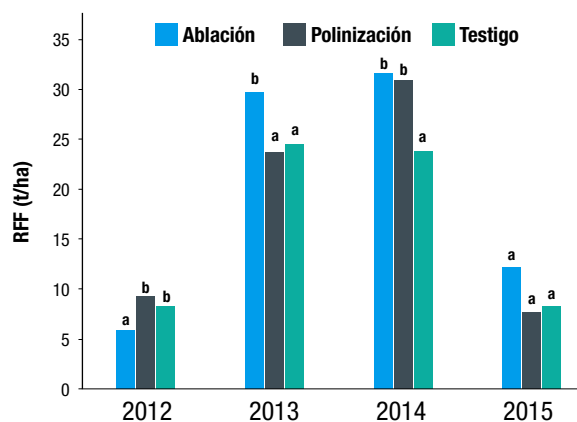


Fig. 2. Producción de racimos de fruta fresca por hectárea por año (RFF). En 2015 la producción fue registrada hasta setiembre. La comparación múltiple de todos los pares de medias fue realizada con la prueba de DGC, donde letras iguales denotan diferencias no significativas con un nivel de significancia de $P < 0.05$.

El contenido de aceite en el racimo fue similar en los tres tratamientos (promedio, 25.3 %). Esta variable depende de la proporción de mesocarpio en el fruto y de la concentración de aceite en el mesocarpio. La proporción de mesocarpio en el fruto fue similar en los tres tratamientos (83.1 % con ablación, 81.5% con polinización asistida y 83.2% en el testigo). El contenido de aceite en el

mesocarpio fue también similar entre estos tratamientos (44.5 % con ablación, 43.6 con polinización asistida y 45.0 en el testigo). Como resultado final, las palmas con ablación produjeron cuatro toneladas más de aceite por hectárea que el testigo (18.6 vs 14.4 t/ha) y tres toneladas más que con polinización asistida (15.8 t/ha), durante los primeros cuatro años de producción.

La ablación se asoció con una menor incidencia de PC (flecha seca) en la variedad Deli x Nigeria, pero en los clones el efecto fue variable: en Opal y Tornado la incidencia fue menor con la ablación durante el año 2013; en el primero desde el inicio de la estación seca y en el segundo en plena estación lluviosa. En el clon Sunrise, el efecto positivo fue mayor durante la época seca de 2013 y a lo largo de la estación lluviosa del año 2014 (fig. 4). La diferencia en incidencia con respecto al testigo fue de 13%. El pico de mayor incidencia de PC se asoció con un periodo de alta producción de racimos durante el primer año de producción. En general, el efecto negativo de la PC sobre la producción se mantuvo durante los dos años siguientes y en el testigo (con mayor incidencia de PC y síntomas más severos), la producción se estabilizó hasta el cuarto año.

Conclusiones

La ablación practicada durante seis meses, tuvo un efecto significativo sobre la producción de fruta fresca, la altura del tronco y la incidencia de pudriciones del cogollo. La tasa de recuperación de las plantas afectadas por PC no fue evaluada en este trabajo, pero alcanzó un alto porcentaje, lo cual es normal en la región. Los resultados fueron similares tanto en las parcelas pequeñas (16 palmas), como en el lote comercial de 34 hectáreas. La duración del efecto de la ablación sobre los parámetros medidos fue variable; en el ensayo I el efecto fue evidente durante los 12 meses después de terminada la ablación, mientras que en el ensayo II el efecto sobre el rendimiento se notó a partir del segundo año de cosecha y se extendió hasta el cuarto año de cosecha.

En Malasia, Nazeeb et al. (1988) determinaron que en condiciones ambientales favorables el efecto transitorio de la ablación sobre la producción de fruta

La altura del tronco y el PxS de las palmas con ablación fueron significativamente mayores a los tres meses después de finalizada esta práctica. Sin embargo, nueve meses después todos los parámetros de crecimiento fueron similares entre los tres tratamientos (Cuadro 3).

Cuadro 4. Altura del tronco, longitud de la hoja y área transversal del peciolo (PxS) de la hoja No. 9, a los 3 y 12 meses después de finalizada la ablación en función de los tres tratamientos y los cuatro genotipos evaluados

Tratamiento	Altura del tronco (cm)		Longitud de la hoja		PxS (cm ²)	
	3	12	3	12	3	12
Ablación	137 a	200 a	308 a	444 a	4.6 a	6.0 a
Polinización asistida	125 b	205 a	300 a	407 a	4.1 b	5.9 a
Testigo	123 b	215 a	303 a	419 a	4.2 b	6.0 a

Letras iguales dentro de una misma columna denotan diferencias no significativas con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$.

Ante la ausencia de racimos como principales sumideros, los fotoasimilados se almacenan principalmente en el tronco, mientras que ocurre un menor transporte de esas sustancias hacia las hojas y otros órganos en crecimiento (Legros et al. 2009).

en palma aceitera no es rentable. En Indonesia (precipitación anual, 1800 mm), Legros et al. (2009) concluyeron que los ajustes que le permitían a la palma incrementar el número de inflorescencias femeninas y reducir el aborto de las mismas, presentaban un retraso de hasta 20 meses; lo cual indica que tales ajustes no fueron efectivos en la mayoría de situaciones en las que las palmas enfrentaron algún tipo de estrés biótico o abiótico.

La ablación se asoció con un incremento de 3.9 toneladas de racimos de fruta fresca durante el primer año de producción en la variedad Compacta x Ghana. En los clones y en Deli x Nigeria, se estimó un incremento en la producción acumulada de RFF de 17 t/ha entre el segundo y cuarto año de cosecha. La ablación también se relacionó con una menor tasa de incremento de la pudrición del cogollo.

Asumiendo un precio de los RFF de US \$100/t. y un costo de \$90/ha. de la labor de ablación durante los seis meses en los que se realizó esa práctica, se tendría una utilidad de US \$310/ha en el primer año de cosecha

en la variedad Compacta x Ghana. En el caso de los clones, el valor acumulado sería de US \$1,610 entre el segundo y el cuarto año de cosecha.

Literatura

Corley R., Breure C. 1992. Fruiting activity, growth and yield of oil palm. I. Effects of fruit removal. *Experimental Agriculture*. 28: 99-109.

Henry J., Gutiérrez M., Torres J., Chinchilla C. Ml., Escobar R., Mata R., Arauz F. 2015. Recuperación de palmas aceiteras (*Elaeis guineensis* Jacq.) afectadas por pudriciones del cogollo. *ASD Oil palm Papers*. 45: 30-42.

Legros S., Mialet-Serra I., Caliman J., Siregar F., Clement-Vidal A., Fabre D., Dingkuhn M. 2009. Phenology, growth and physiological adjustments of oil palm (*Elaeis guineensis*) to sink limitation induced by fruit pruning. *Annals of Botany* 104: 1183-1194.

Nazeeb M., Letchumanan A., Loong S. 1988. A Study of Ablation of Oil Palms in Penninsular Malaysia after the introduction of the Pollinating weevils (*E. kamerunicus*). *Planter* 64: 245-251.

Pallas B., Mialet-Serra I., Rouan L., Clément-Vidal A., Caliman J., Dingkuhn M. 2013. Effect of source/sink ratios on yield components, growth dynamics and structural characteristics of oil palm (*Elaeis guineensis*) bunches. *Tree Physiology* 33: 409-424.

Solano J., Villalobos R. 2000. Aspectos fisiográficos aplicados a un bosquejo de regionalización geográfico climático de Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. San José. 32 p.

Ablation, yield and health in highly precocious oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) clones and varieties

Henry Jeremy, Alvarado Amancio¹, Abarca Danilo

Abstract

In October 2011, two field trials were initiated in the southern Pacific of Costa Rica (average monthly rainfall = 330 mm). In trial I, on a 34 ha commercial plot of the Compacta x Ghana variety, an ablation treatment was used and a control (non-ablation) was left for comparison. In trial II, the same treatments were used on three 'compact' clones planted in plots of 16 palms each.

The production of female inflorescences began when the palms reached 16 months of age, and from that moment onwards ablation was carried out monthly for 6 months. Field data was collected between June 2012 and September 2015. The vegetative growth of the palms was measured at 8 and 12 months after the ablation was completed and fresh fruit production was recorded monthly. Nine months after the conclusion of the ablation, bunch composition and bunch oil content were estimated. The sanitary condition of the palms was evaluated monthly.

The ablated palms produced more fruit and showed greater trunk height than the control palms ($P < 0.05$). However, bunch oil content, leaf length, and petiole cross section (PxS) did not seem to have been significantly affected. During the 2013 rainy season (monthly average of 450 mm), there was an increase in the incidence of spear rot in the two trials, but this was slightly lower in the ablated plots (14 and 10 % lower). The rate of symptom recovery, which is regularly assessed in the region, was not determined in the trials.

The increase in the fruit yield associated with ablation in the Compact x Ghana variety increased profit-ability in \$390/ha during the first harvest year (trial I). The fruit yield in trial II was recorded for four years and in that time frame the ablation treatment generated a profit increase of \$ 1610/ha. The cost of ablation for six months was estimated in \$90/ha.

The ablation work increased the profitability of the crop and helped to reduce the incidence of the disorder called 'spear rot', which is known in Costa Rica as flecha seca or 'dry spear'.

Key words: Oil palm, ablation, PC, flecha seca.

¹ ASD de Costa Rica, a.alvarado@asd-cr.com

Introduction

Ablation consists of removing the forming bunches and immature inflorescences, particularly the female ones. The aim of carrying out this practice at the beginning of the reproductive stage is to stimulate vegetative growth by sending more assimilates to the trunk and roots (Corley and Breure 1992). Ablation removes the first bunches, which are poorly pollinated and have low weight and low oil content (Nazeeb et al. 1988).

In very precocious varieties, the production of female inflorescences begins at 12-15 months of age. This high precocity generates an energy drain on the plants and is

of no great commercial benefit due to the low weight and poor oil content of the bunches, which could instead predispose the palms to suffer stress under unfavorable environmental conditions. In the southern Pacific region of Costa Rica, the relationship between soil water saturation during the rainy season and the appearance of bud rots has already been documented.

The objective of this study is to determine the impact of early ablation on future fruit and oil production, vegetative growth, and health in oil palms of various reduced growth genotypes.

Materials and methods

The trials were conducted in a commercial oil palm plantation located in the southern Pacific of Costa Rica. The climate in this area is rainy with monsoon influence (Solano and Villalobos 2000). Between 2010 and 2014, the annual rainfall was 4,650 mm. The wettest periods occurred between May and November, with monthly rainfall of 600 mm or more. The soil is of alluvial origin, with a predominance of sandy-clay textures.

Treatments were carried out on a 34-hectare plot of the Compact x Ghana variety (Trial I) and on observation plots of three reduced growth clones, together with the variety *E. guineensis* Deli x Nigeria (Trial II).

Field data was collected between June 2012 and September 2015, which included two periods with less rainfall (November 2012 - April 2013: monthly average of 160 mm and December 2013 - April 2014: monthly average of 140 mm). During the intermediate rainy period (May-November 2013) an average of 450 mm/month was recorded.

Trial I:

Sixteen-month-old palms of the variety Compact x Ghana, planted in 2010 at a density of 160 palms per hectare, were included. Two treatments were used, T1 = ablation

and T2 = control, in a completely randomized design on 20 'harvest centers'. Each treatment was located in 10 harvesting centers (1.7 ha/center). Ablation was carried out monthly for six months, between October 2011 and March 2012 (16 to 21 months of age). Harvesting of fresh fruit bunches was initiated in January 2013.

Trial II:

Sixteen-month-old palms of three clones were included: Opal, Sunrise, and Tornado, and of the commercial variety Deli x Nigeria of *E. guineensis* origin. The palms were planted in 2010 at a density of 160 palms per hectare, in a lot with plots of 16 palms each (six palms in the useful plot, considering each palm as a replicate). The experimental design used was a completely randomized arrangement with a 3x4 factorial structure, where the three treatments (with six replicates): T1) ablation, T2) assisted pollination and T3) control, were applied to the four planting materials, as indicated below:

T1 = Ablation, from October 2011 to March 2012 (16 to 21 months old). Harvesting was initiated five months after the end of ablation in August 2012, when the palms were 26 months old.

T2 = Assisted pollination, from October 2011 to March 2012 (16 to 21 months of age). Harvesting of bunches

originating from assisted pollinated inflorescences was initiated at 20 months of age in February 2012; to these were added the previously harvested young bunches already in formation, which matured between November 2011 and January 2012.

T3 = Control (no ablation or assisted pollination). Harvesting of the first bunches was initiated at 22 months of age, in April 2012, when the quality of the bunches complied with the commercially used criterion.

Vegetative, production, and health variables

Production. In trial I, the monthly production of fresh fruit bunches (t/ha) between January and December 2013 was recorded. In trial II, the monthly production of fresh fruit bunches as harvested in the six palms of each treatment during the period April 2012 to September 2015 was documented.

Bunch analysis. Bunch composition and oil content were estimated for a sample of 20 bunches per treatment, nine months after ablation was completed when the palms were 30 months old.

Growth. Stem height (from the soil surface to the base of leaf No. 41), leaf length and petiole cross section (PxS) of leaf No. 9 were measured at 8 and 12 months after completion of ablation (29 and 33 months of age, respectively).

Health. In trial I, the monthly incidence of bud rots were evaluated from 24 months of age (June 2012) to 50 months of age (September 2014). In trial II, recording was maintained for 20 months, from January 2013 to September 2014. The rate of symptom recovery was not determined, but it is normal in the region where the study was conducted that most affected palms recover some time after showing symptoms.

Analysis and interpretation of data

In trial I, growth variables, fresh fruit production and oil content in the bunch were analyzed by means of a *t*-test, where the means of treatments T1 (ablation) and T2 (control) were compared at a significance level of $P < 0.05$.

The analysis of variance in trial II considered three sources of variation: genotype, treatments, and the material x treatment interaction. The significance of the difference between means of the four materials and the material x treatment interaction was verified using the least significant difference (LSD) method, while, among the three treatments an analysis of variance was performed using the multiple comparison of all pairs of means with the DGC test ($P < 0.05$).

Results and discussion

Trial I. Ablation had a significant effect on the number of bunches produced per palm. The effect was most noticeable in the three production peaks observed in the Compact x Ghana variety, in January, May and July 2013. On average, one more bunch was harvested per month in the ablated palms (Fig. 1a).

The increase in average bunch weight over time was greater in the palms with ablation. The greatest difference with respect to the control was observed during the rainy season (May to November) in 2013. Then, in December, bunch weight was similar between the ablation treatment and the control (Fig. 1b). The effect of ablation on bunch components was spread over a period of one year.

¹ In order to obtain a better formation in the young bunches, which usually have a low proportion of fertile fruit. Pollination was done with a mixture of 1 to 2 g of pollen and 5 g of inert talcum powder, which was applied to inflorescences at anthesis as a complement to natural pollination.

² PC in Costa Rica is known as 'flecha seca' (dry spear), because drying of the spear leaves occurs (in addition to the other symptoms associated with PC), but most plants eventually recover their productive potential.

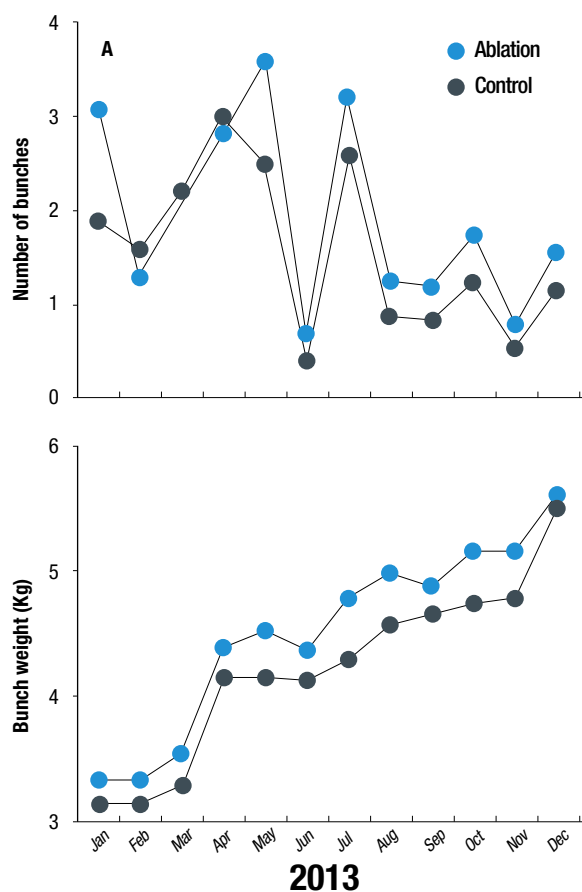


Fig. 1. . Monthly variation in the number of bunches produced per palm (A) and average bunch weight (B), at 30 months of age in palms of the variety Compact x Ghana, with and without ablation.

The increase in the number of bunches during the three production peaks (January, May and July 2013) may be due to a lower rate of inflorescence abortion in the palms with ablation (Corley and Breure 1992, Legros et al. 2009). Ablation allows the accumulation of carbohydrate reserves in the trunk, which help the palms to better tolerate periods of water stress at the time of sexual differentiation, which occurs 10 to 20 months earlier. Ablation also increases the production of female inflorescences because of the increase in the rate of leaf emission, as the period between leaf emission and the onset of anthesis in female inflorescences is shortened (Pallas et al. 2013).

The average weight of fertile fruit (10.7 g with ablation vs. 9.4 g in the control), partly explains the increase in

average bunch weight. Other bunch components (proportion of fertile fruits and oil content) were not significantly affected by the ablation treatment (table 1). These results differ from those obtained by Pallas et al. (2013), who associated the higher bunch weight of the ablation treatment with the higher number of fruits per bunch and not with the variations in bunch weight.

Table 1. Bunch components in the ablation and control treatments in palms of the Compact x Ghana variety.								
Treatment	Weight	F.F	P.F	F.B	F.W	M/F	O/M	O/B
Ablation	4.0	60.3	9.8	66.8	10.7	80.0	39.3	25.5
Control	3.7	58.3	9.6	66.8	9.4	82.0	42.7	27.4
Difference between measurements	0.3 *	2.0 n.s.	0.2 n.s.	0.0 n.s.	1.3 *	2.0 n.s.	3.4 n.s.	1.2 n.s.

t-test (n.s.: non-significant differences, * significant) between means, $P \leq 0.05$. Weight = average bunch weight; F.F = fertile fruit, %; P.F = partenocarpic fruit, %; F.B = total fruit in bunch, %; F.W = average fruit weight, grams; M/F = mesocarp in fruit, %; O/M = oil in the mesocarp, %; O/B = bunch oil content, %.

As a consequence of the increase in the number and average weight of bunches during the first 12 months of harvest on the ablated plants, the cumulative first year fresh fruit yield was 14.6 t/ha for the ablation treatment (4 tons above the control) (table 2). Considering that the oil in the bunch was similar in both treatments, it was estimated that the ablation treatment produced 0.8 tons more oil per hectare than the control during the first year of harvest (Table 2).

Table 2. Production of fresh fruit and oil in the bunch in the ablation and control treatments applied to palms of the variety Compact x Ghana.					
Treatment	Production	Number of bunches	Bunch weight	OB	O/ha
	(t/palma/year)	(No. palm/month)	(Kg)	(%)	(t/ha/year)
Ablation	14.6	1.9	4.0	25.5	3.7
Control	10.7	1.6	3.7	27.4	2.9
Difference between means	3.9 *	0.4 *	0.3 *	1.9 n.s.	0.8 *

t-test with statistically non-significant (n.s.) and significant (*) differences between the means of the ablation treatment and the control with $P \leq 0.05$. OB = oil in bunch; O/ha = oil/ha.

One year after ablation, the trunk height of these palms was 12 cm greater than that of the control palms ($P \leq 0.05$). Leaf length and cross-sectional area of the petiole (PxS) did not show significant differences between treatments (Table 3).

Table 3. Stem height, leaf length and petiole cross-section area (PxS) of leaf No. 9 in both treatments, assessed at 8 and 12 months after completion of ablation.						
Treatment	Stem height (cm)		Leaf length (cm)		PxS (cm ²)	
	8	12	8	12	8	12
Ablation	107	184	267	402	3.6	6.1
Control	104	172	261	391	3.5	5.9
Difference between means	3 n.s.	12 *	6 n.s.	11 n.s.	0.1 n.s.	0.2 n.s.

t-test with statistically non-significant (n.s.) and significant (*) differences between the means of the ablation treatment and the control at $P \leq 0.05$.

Ablation has a significant effect on vegetative growth (Corley and Breure, 1992; Henry et al. 2015; Legros et al. 2009). The partitioning of assimilates occurs between antagonistic but complementary processes: vegetative growth, fresh fruit bunch production and defense mechanisms against negative biotic and abiotic factors. The lower vegetative growth observed in the control is a consequence of initial bunch production, but this initial energy expenditure did not occur in the ablated plants. The greater initial accumulation of reserves in the ablated plants may also have helped the plant to withstand the stress associated with the incidence of a disorder such as spear rot, which was greater in the control treatment. These differences became more noticeable during the 2013 rainy season (May to November, average rainfall = 450 mm), when the incidence in the ablation treatment was 10% lower.

Again, in the 2014 rainy season (May to September, average rainfall = 513 mm), the incidence of spear rots was lower in the ablation treatment (10% lower). However, in September 2014, the incidence of this disorder was similar in both treatments, which could indicate that the effect of ablation (for six months) on spear rot is only maintained for about 18 months. However, the effect on the rate of symptom recovery was not determined.

Trial II

Differences in growth, yield and oil content were significant ($P \leq 0.05$) among treatments (ablation, assisted

pollination and control). There was no effect on interactions. In the first harvest year (2012), the ablation treatment had lower fruit production than the assisted pollination and control treatments, as expected. During the second harvest year (2013), the highest production was obtained in the palms with ablation (30 t/ha vs. 25 t/ha in the control). In the following year (2014) the difference increased to 7.7 tons in favor of the ablation, while in the fourth year the fresh fruit production was similar in the three treatments (Fig. 2). Cumulative fresh fruit bunch production up to the fourth year was significantly higher in the ablation treatment (73.7 t/ha vs. 62.5 t/ha with assisted pollination and 56.9 t/ha in the control).

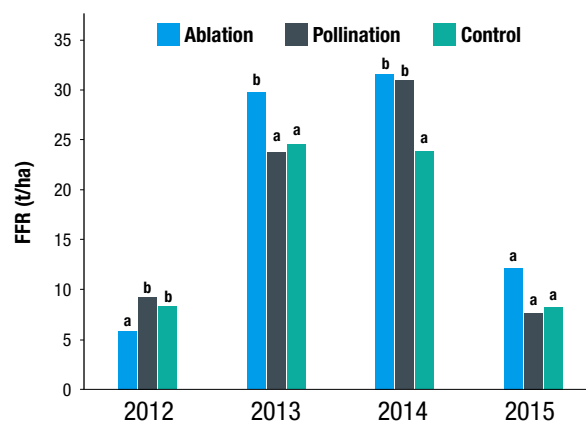


Fig. 2. Production of fresh fruit bunches per hectare per year (FFR). In 2015, production was recorded until September. Multiple comparison of all pairs of means was performed with the DGC test, where equal letters denote non-significant differences at a significance level of $P < 0.05$.

The oil content in the bunch was similar in the three treatments (average, 25.3 %). This variable depends on the proportion of mesocarp in the fruit and the concentration of oil in the mesocarp. The proportion of mesocarp in the fruit was similar in the three treatments (83.1 % with ablation, 81.5 % with assisted pollination, and 83.2 % in the control). The oil content in the mesocarp was also similar among these treatments (44.5 % with ablation, 43.6 % with assisted pollination, and 45.0 % in the control). As a final result, the palms with ablation produced four tons more oil per hectare than the control (18.6 vs. 14.4 t/ha) and three tons more than with assisted pollination (15.8 t/ha), during the first four years of production.

Ablation was associated with a lower incidence of PC (spear rot) in the Deli x Nigeria variety, but in the clones the effect was variable: in Opal and Tornado the incidence was lower with ablation during 2013; in the former from the beginning of the dry season and in the latter in the rainy season. In the Sunrise clone, the positive effect was greater during the dry season of 2013 and throughout the rainy season of 2014 (fig. 4). The difference in incidence compared to the control was 13%. The peak of highest PC incidence was associated with a period of high bunch production during the first year of production. In general, the negative effect of PC on production was maintained during the following two years and in the control (with higher incidence of PC and more severe symptoms), production stabilized until the fourth year.

The trunk height and PxS of the ablated palms were significantly greater three months after the end of this

practice. However, nine months later, all growth parameters were similar among the three treatments (Table 3).

Table 4. Stem height, leaf length and petiole cross-sectional area (PxS) of leaf No. 9 at 3 and 12 months after the end of ablation for the three treatments and the four genotypes evaluated.

Treatment	Stem height (cm)		Leaf length (cm)		PxS (cm ²)	
	3	12	3	12	3	12
Ablation	137 a	200 a	308 a	444 a	4.6 a	6.0 a
Assisted pollination	125 b	205 a	300 a	407 a	4.1 b	5.9 a
Control	123 b	215 a	303 a	419 a	4.2 b	6.0 a

Equal letters within a column denote non-significant differences at a significance level of $P \leq 0.05$.

In the absence of bunches as main sinks, photo-assimilates are mainly stored in the trunk, while less transport of these substances to the leaves and other growing organs occurs (Legros et al. 2009).

Conclusions

Ablation practiced for six months had a significant effect on fresh fruit production, trunk height and incidence of spear rot. The recovery rate of the plants affected by PC was not evaluated in this work, but it reached a high percentage, which is normal for the region. The results were similar in both small plots (16 palms) and in the 34 ha commercial plot. The duration of the effect of ablation on the parameters measured was variable; in trial I the effect was evident during the 12 months after the ablation was completed, while in trial II the effect on yield was noted from the second year of harvest and it extended until the fourth year of harvest.

In Malaysia, Nazeeb et al. (1988) found that under favorable environmental conditions the transient effect of ablation on oil palm fruit production is not profitable. In Indonesia (annual rain-fall, 1800 mm), Legros et al. (2009) concluded that adjustments that allowed the palm to increase the number of female inflorescences and reduce their abortion were

delayed by up to 20 months, indicating that such adjustments were not effective in most situations where the palms faced some type of biotic or abiotic stress.

Ablation was associated with an increase of 3.9 tons of fresh fruit bunches during the first year of production in the Compact x Ghana variety. In Deli x Nigeria and the clones, an increase in cumulative FFB production of 17 t/ha was estimated between the second and fourth year of harvest. Ablation was also associated with a lower rate of increase in bud rot.

Assuming an FFB price of US \$100/ha and a cost of \$90/ha for the six months during which ablation was carried out, this would result in a profit of US \$310/ha in the first year of harvest for the Compact x Ghana variety. For the clones, the cumulative value would be US \$1,610 between the second and fourth year of harvest.

Literature cited

- Corley R., Breure C. 1992. Fruiting activity, growth and yield of oil palm. I. Effects of fruit removal. *Experimental Agriculture*. 28: 99-109.
- Henry J., Gutiérrez M., Torres J., Chinchilla C. M., Escobar R., Mata R., Arauz F. 2015. Recuperación de palmas aceiteras (*Elaeis guineensis* Jacq.) afectadas por pudriciones del cogollo. *ASD Oil palm Papers*. 45: 30-42.
- Legros S., Mialet-Serra I., Caliman J., Siregar F., Clement-Vidal A., Fabre D., Dingkuhn M. 2009. Phenology, growth and physiological adjustments of oil palm (*Elaeis guineensis*) to sink limitation induced by fruit pruning. *Annals of Botany* 104: 1183–1194.
- Nazeeb M., Letchumanan A., Loong S. 1988. A Study of Ablation of Oil Palms in Penninsular Malaysia after the introduction of the Pollinating weevils (*E. kamerunicus*). *Planter* 64: 245-251.
- Pallas B., Mialet-Serra I., Rouan L., Clément-Vidal A., Caliman J., Dingkuhn M. 2013. Effect of source/sink ratios on yield components, growth dynamics and structural characteristics of oil palm (*Elaeis guineensis*) bunches. *Tree Physiology* 33: 409-424.
- Solano J., Villalobos R. 2000. Aspectos fisiográficos aplicados a un bosquejo de regionalización geográfico climático de Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. San José. 32 p.

Nota técnica

Reflexiones sobre la vigilancia de plagas en palma aceitera (observaciones en Costa Rica)

Carlos Chinchilla¹, Héctor Albertazzi

Introducción

Los ataques de muchos insectos plaga, especialmente defoliadores, pueden ser explosivos y ocurren cada cierto número de años. Las razones para este comportamiento no son siempre claras, pero los cambios climáticos y la carencia de plantas nectaríferas (donde se refugian y/o alimentan los parasitoides y depredadores), son posibles razones. Por consiguiente, es trascendental incluir la siembra de plantas atractivas para la fauna benéfica en todo programa de manejo integrado de plagas en las plantaciones de palma aceitera.

Asimismo, es importante mantener ciclos regulares de vigilancia de la plantación para detectar tempranamente los focos de plagas y monitorear su evolución. El muestreo de las plagas involucra el inventario de los diferentes estados larvales (o estados inmaduros), pupas (y a veces adultos), y el grado de parasitismo, enfermedades y depredación que presentan.

Las plagas defoliadoras más comunes de la palma aceitera en Centro América son las hormigas zompopas (*Atta sp.* y *Acromirmex sp.*), *Opsiphanes cassina*, *Stenoma cecropia*, *Sibine megasomoides*, *Oiketicus kirby* y *Sibine fusca*. Existen otras plagas comedoras de follaje menos comunes, las que hasta ahora han sido reguladas por sus enemigos naturales, como por ejemplo algunos 'limacódidos' y varios tipos de raspadores.

Entre las plagas que dañan el cogollo y el tronco solo reconocemos como de importancia al picudo negro (*Rhynchophorus palmarum*). Entre las que causan daño a las raíces, *Sagalassa valida* está presente en Costa Rica, pero sus poblaciones son muy bajas y carecen de importancia. En Nicaragua, el daño que esta plaga causa a las raíces puede ser mayor en sitios específicos, pero aparentemente no es de importancia económica. Las ratas son un problema común en palmas jóvenes.

El *monitoreo* de las zompopas es normalmente hecho buscando los nidos y el daño que causan (que es más común y problemático en palmas muy jóvenes). El muestreo de *Sagalassa* es muy específico, e implica la observación de las raíces. En el caso de los picudos, el seguimiento se hace con trampas específicas para ese insecto. Para las plagas como lepidópteros y algunos raspadores crisomélidos, el muestreo debe ser hecho directamente contando los individuos observados sobre una hoja en particular. La vigilancia continua de la plantación permite disponer de suficiente tiempo para organizar bien el programa de combate de cada plaga en particular. Las ventajas son obvias: tiempo suficiente para organizar un programa efectivo de manejo y evitar mayores daños a la plantación.

¹cmlchinchilla@gmail.com

Ubicación de las larvas en la planta

Cuando las poblaciones de la mayoría de los defoliadores considerados de importancia está 'bajo control por sus enemigos naturales', los pocos individuos presentes tienden a aparecer cerca de las puntas de las hojas más viejas (bajeras) que dan hacia áreas abiertas, tales como canales y caminos anchos. Por consiguiente, durante un muestreo rutinario debe incluirse necesariamente algunas de las hojas que apuntan hacia esas áreas abiertas.

Si el muestreo es hecho únicamente en palmas en el interior del área (palmas que están completamente rodeadas por otras), se corre el riesgo de no percibir una situación potencialmente peligrosa, en la que la población de un defoliador está aumentando en las palmas en la orilla de un sitio en particular.

Las figuras 1, 2 y 3 fueron generadas con datos de campo tomados durante un incremento poblacional de *Stenoma cecropia* en Quepos (Pacífico central de Costa Rica). Esa información ilustra la distribución de la población de cartuchos de este defoliador en hojas en diferente posición en la planta (Fig. 1).

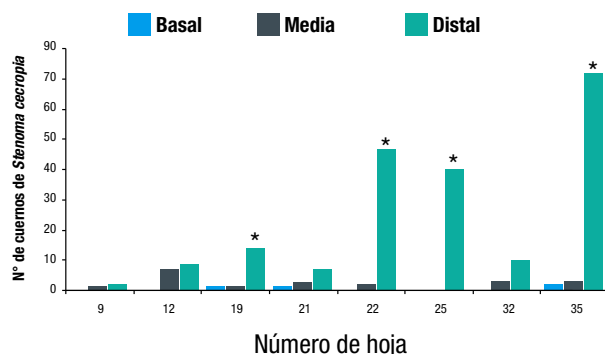


Fig. 1. Número de cuernos de *Stenoma cecropia* en la parte basal, media y distal de las hojas 9, 12, 19, 21, 25, 32, y 35. No se estableció si los individuos estaban vivos no, o parasitados. El asterisco en la parte superior de las barras indica que esas hojas estaban orientadas hacia una calle.

Asimismo, se nota una preferencia del insecto por las hojas inferiores orientadas hacia áreas abiertas (calles o canales anchos) (Fig. 2), y la mayor población se observó en las palmas de la orilla (Fig. 3). Esa información apoya la sugerencia de incluir siempre aquellas palmas ubicadas en los bordes de la plantación durante los muestreos.

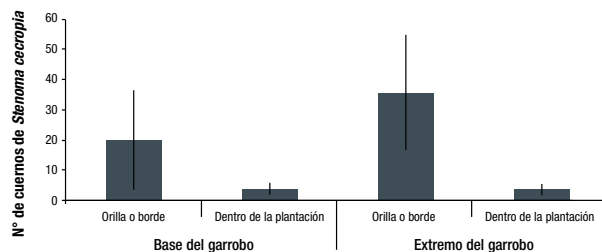


Fig. 2. Número de cuernos de *Stenoma cecropia* en los últimos 120 foliolos de la hoja (la "base" corresponde a los primeros 60 foliolos antes de alcanzar los 60 del extremo), en palmas de la orilla (borde) y dentro de la plantación (n=30 hojas). Sólo se muestrearon hojas bajeras (entre la 30 y 35), y se contaron todos los cuernos independientemente de que las larvas estuviesen vivas o muertas. La línea indica una desviación estándar.

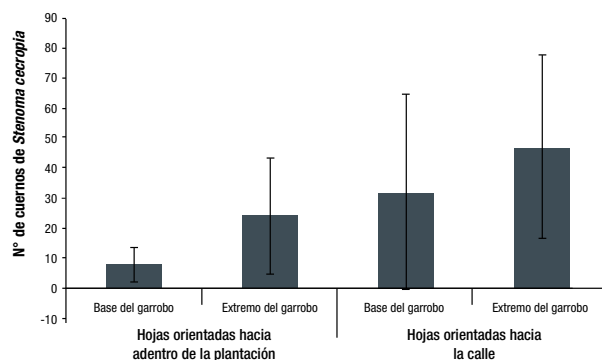


Fig. 3. Número de cuernos de *Stenoma cecropia* en los últimos 120 foliolos de la hoja (la "base" corresponde a los primeros 60 foliolos antes de alcanzar los 60 del extremo). Orientación de las hojas hacia un camino o hacia adentro de la plantación

El muestreo rutinario para defoliadores (antes de que ocurra un incremento poblacional), puede entonces ser hecho contando los individuos observados únicamente en la punta de las hojas bajeras, específicamente en la porción distal de la hoja más allá del punto conocido localmente como el 'garrobo' (cresta o protuberancia sobre el raquis). El 'garrobo', por su similitud con la cresta de una iguana, se identifica observando la hoja por el haz, en el punto en que la cresta que forma el raquis pasa de ser plana a una protuberancia afilada. Sin embargo, se obtiene un buen estimado de la situación si el conteo es hecho en los últimos 80 foliolos de la porción distal de cada hoja (Fig. 2). Se puede asumir que cualquier cambio en el comportamiento o en el número de individuos de un defoliador cualquiera en estas hojas, representa una situación previa a una posible explosión de la población en toda el área.

El comportamiento de las larvas de *Stenoma cecropia* que se ilustra en las figuras no es único. En otras observaciones con *Opsiphanes cassina*, *Oiketicus kirby* y

otros raspadores de hojas en Coto (Pacífico sur del país), se encontró un comportamiento similar: las larvas se concentran hacia la punta de las hojas, particularmente en aquellas orientadas hacia áreas abiertas (Figs.4-7)

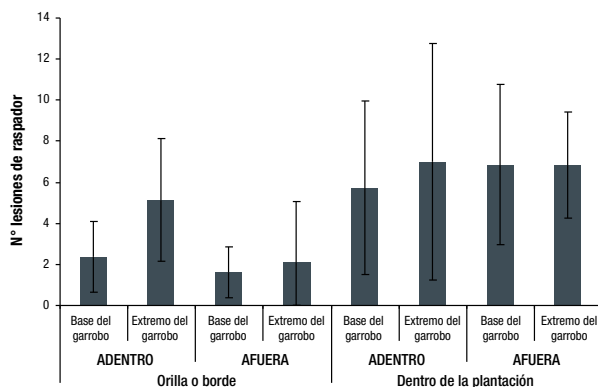


Fig. 4. Número de lesiones causadas por un raspador en los últimos 120 foliolos de la hoja (la 'base' corresponde a los primeros 60 foliolos antes de alcanzar los 60 del extremo). Palmas en el borde o dentro de la plantación.

Frecuencia del muestreo

La duración promedio del estado larval de la mayoría de los defoliadores de la palma aceitera es de aproximadamente dos meses. Esto sugiere que los ciclos de visita a un área en particular deben ser realizados dentro de ese periodo, aunque la disponibilidad de mano de obra define en buena parte la frecuencia de las visitas.

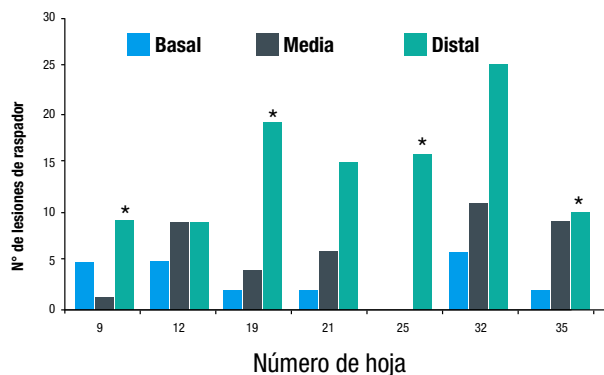


Fig. 5. Número de lesiones causadas por un raspador en las partes basal, media y distal de las hojas 9, 12, 19, 21, 25, 32, y 35. No se determinó si los individuos estaban vivos o no, o parasitados. El asterisco encima de las barras indica que esas hojas estaban orientadas hacia una calle.

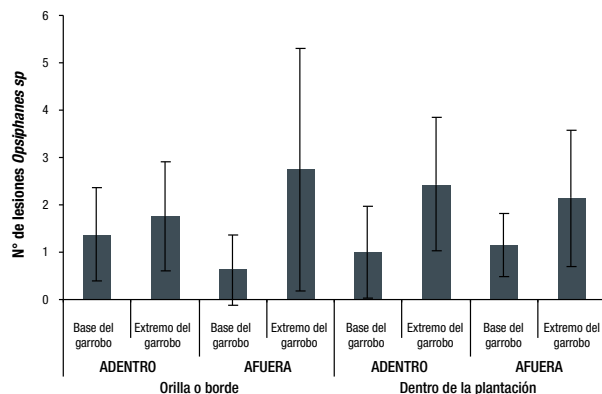


Fig. 6. Número de lesiones causadas *Opsiphanes cassina* en los últimos 120 foliolos de la hoja (la 'base' corresponde a los primeros 60 foliolos antes de alcanzar los 60 del extremo). Palmas en el borde o dentro de la plantación.

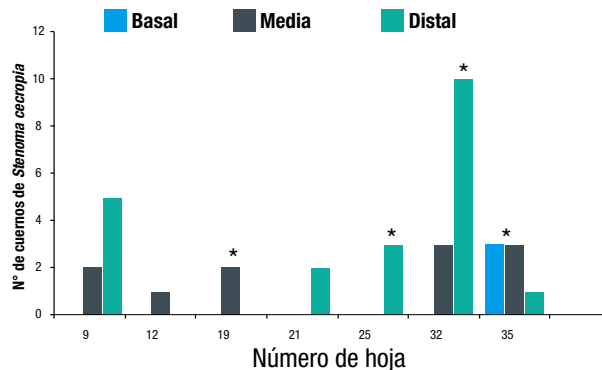


Fig. 7. Número de lesiones causadas por *Opsiphanes cassina* en la parte basal, media y distal de las hojas 9, 12, 19, 21, 25, 32, y 35. El asterisco indica que la hoja estaba orientada hacia una calle.

El sitio de la muestra

Para el muestreo rutinario (plagas bajo control natural), basta con revisar la punta de una hoja, según se indicó anteriormente. Una hoja cercana a la número 33 en la filotaxia de la palma es adecuada (no existen diferencias realmente importantes entre las hojas 30 y 35 por ejemplo). En el caso de descubrirse un foco de cualquier plaga, se pasa a muestrear la hoja 25 (extremo distal). En casos de focos declarados con una muy alta población de larvas, podría requerirse muestrear la hoja 17 (o más joven), para poder monitorear alguna forma de control ya realizada como una aplicación de insecticida, por ejemplo

Costo económico del muestreo

Mantener un grupo permanente de personas realizando el muestreo sistemático de plagas en una plantación es económicamente oneroso. No obstante, el caso del personal que se encarga del combate de enfermedades es diferente, ya que esa actividad es una necesidad permanente en la mayoría de las plantaciones. Con el objeto de aprovechar mejor los recursos laborales es importante entrenar al personal de 'enfermedades', de 'control de calidad' incluso a los 'cortadores de fruta', para que asuman una responsabilidad parcial de la vigilancia de la población de plagas.

Bajo ese esquema la sanidad del cultivo es responsabilidad de todos, y el personal de 'enfermedades' (permanente) también es responsable de informar sobre el incremento poblacional de cualquier plaga. La responsabilidad de un trabajador de 'combate de enfermedades' es informar si existe alguna situación irregular, luego de lo cual se envía a otro grupo de personal a realizar un muestro detallado de considerarse necesario. Además, el trabajo del responsable de la sanidad del cultivo se facilita con la contribución del personal de 'control de calidad' (quienes deben necesariamente recorrer mucha área cada día). La obligación de ese grupo es informar sobre cualquier situación anormal que sea observada en la plantación.

El resultado es aún mejor, si se logra involucrar a los 'cortadores de fruta' para que también informen sobre lo que ellos consideren un incremento inusual de alguna plaga. Los defoliadores más importantes están en las hojas más viejas, las cuales son cortadas durante la cosecha diariamente. Asimismo, los ciclos de cosecha son más cortos que los periodos en los que un vigilante de plagas (plaguero) podría volver al mismo

lugar. Una revisión rápida de la punta de las hojas cortadas durante la cosecha, brinda información trascendente sobre la posibilidad de un incremento poblacional de algún defoliador importante. El supervisor de campo, coordinador de área o puesto similar, sería el enlace entre los cortadores de fruta y el encargado del programa fitosanitario.

Otra opción para aprovechar mejor los recursos laborales, es obtener anticipadamente información sobre el futuro calendario de cosecha, de modo que sea posible hacer coincidir la visita de una persona (en forma similar a como lo hace el personal de calidad) con la visita de los 'corteros a los diferentes lotes, en particular aquellos donde ya se han formado focos importantes de alguna plaga en el pasado. Esta persona solo revisa una muestra de las hojas que han sido cortadas, en donde notará fácilmente si el daño o la población de algún defoliador es inusual o ha cambiado. Además, podría incluso determinar (contar) el daño o población de cualquier insecto plaga en el tercio terminal de la hoja, y también delimitar en forma general el posible foco. Si efectivamente algo anormal es evidente, se informará al encargado para que envíe personal especializado a hacer una inspección más detallada, en la que cortarían hojas más jóvenes para definir con mayor certeza la trascendencia de la amenaza.

Una ventaja de este sistema es que se usa menos personal: el trabajador no tiene que cortar hojas (no carga un cuchillo 'malayo'), de modo que puede desplazarse a caballo y la información que tiene que recolectar es muy sencilla. Las visitas a una misma área pueden también ser más frecuentes. Solo en caso de detectarse algo de interés se revisa el área con mayor detenimiento. Una prueba en unos cuantos lotes de cosecha, puede definir con mayor detalle las posibles debilidades y fortalezas de ese método.

Referencias

- Rhainds M, Gries G., Chinchilla C. 1996. Development of a sampling method for first instar *Oiketicus kirbyi* (Lepidoptera, Psychidae) in oil palm plantations. *Journal of Economic Entomology* 89(2): 396-401.
- Rhainds M., Chinchilla C., Gries G. 1993. Desarrollo de un método de muestreo para las larvas de *Opsiphanes cassina* Felder en palma aceitera. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 30:15-18.
- Rojas J., Chinchilla C., Aguilar H. 1993. Seasonal and spatial distribution of *Retracus elaeidis* (Acari: Phytoptidae) and other acarids associated with oil palm in Costa Rica. *Journal of Plantation Crops (India)* 21(2): 97-106.
- Mexzón R., Chinchilla C., Castrillo G., Salamanca D. 1994. Biología y hábitos de *Rhynchophorus palmarum* L. asociado a la palma aceitera en Costa Rica. *ASD Oil Palm Papers* 8: 14-21.
- Chinchilla C. 1995. Opciones al uso unilateral de plaguicidas en el cultivo de la palma aceitera: pasado, presente y futuro. *In*. Opciones al uso unilateral de plaguicidas en Costa Rica. Vol. 2. García, J.; Fuentes G. Monge, J. Eds. Editorial Universidad Estatal a Distancia. p. 35-47.
- Rhainds M., Gries G., Chinchilla C. 1995. Pupation site and emergency time influence the mating success of bagworm females, *Oiketicus kirbyi*. *Entomol. Experimen. et Applicata* 77: 183-187.
- Mexzón R., Chinchilla C. 1996. Enemigos naturales de los artrópodos perjudiciales en palma aceitera en América tropical. *ASD Oil Palm Papers*, 13:9-33.
- Mexzón R., Chinchilla C., Salamanca D. 1996. The biology of *Sibine megasomoides*, Lepidoptera, Limacodidae: observations of the pest in oil palm in Costa Rica. *ASD Oil Palm Papers* 12: 1-10.
- Loría R., Chinchilla C., Domínguez J., Mexzón R. 2000. Una trampa efectiva para capturar adultos de *Opsiphanes cassina* y observaciones del comportamiento de la plaga en palma aceitera. *ASD Oil Palm Papers*, 21: 1-8.
- Oehlschlager A. C., Chinchilla C., Castrillo G., González L. 2002. Control of red ring disease by mass trapping of *Rhynchophorus palmarum*. *Florida Entomologist* 85(3):507-513.
- Chinchilla C. 2003. Manejo integrado de problemas fitosanitarios en palma aceitera, *Elaeis guineensis* en América Central. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)*. 67: 69-82.
- Mexzón R., Chinchilla C., Rodríguez R. 2003. El gusano canasta, *Oiketicus kirbyi* Lands G. como plaga de la palma aceitera, *ASD Oil Palm Papers*. 25: 17-23.

Reflections on pest surveillance in oil palm (observations in Costa Rica)

Carlos Chinchilla¹, Héctor Albertazzi

Introduction

Attacks by many insect pests, especially defoliators, can be explosive and occur every few years. The reasons for this behavior are not always clear, but climatic changes and lack of nectar-bearing plants (where parasitoids and predators take refuge and/or feed) are possible reasons. It is therefore important to include the planting of plants attractive to beneficial fauna in any integrated pest management program in oil palm plantations.

It is also important to maintain regular surveillance cycles of the plantation to detect pest out-breaks early and monitor their evolution. Pest sampling involves the inventory of the different larval stages (or immature stages), pupae (and sometimes adults), and the degree of parasitism, diseases, and predation they present.

The most common defoliating pests of oil palm in Central America are leaf-cutting ants (*Atta* sp. and *Acromirmex* sp.), *Opsiphanes cassina*, *Stenoma cecropia*, *Sibine megasomoides*, *Oiketicus kirby* and *Sibine fusca*. There are other less common foliage-eating pests, which have so far been controlled by their natural enemies, such as some 'limacodids' and several types of scrapers.

Among the pests that damage the spear leaves and trunk, only the black palm weevil (*Rhynchophorus palmarum*) is recognized as being of importance. Among the root-damaging pests, *Sagalassa valida* is present in Costa Rica, but its populations are very low and unimportant. In Nicaragua, root damage by this pest may be higher in specific sites, but apparently it is not of economic importance. Rats are a common problem in young palms.

Monitoring of leaf-cutting ants is normally done by looking for nests and the damage they cause (which is more common and problematic in very young palms). *Sagalassa* sampling is very specific and involves observation of the roots. In the case of weevils, monitoring is done with specific traps for that insect. For pests such as Lepidoptera and certain chrysomelid scrapers, sampling must be done directly by counting the individuals observed on a particular leaf. Continuous monitoring of the plantation allows sufficient time to organize the control program for each type of pest. The advantages are obvious: enough time to organize an effective management program and avoid further damage to the plantation.

¹cmlchinchilla@gmail.com

Location of larvae on the plant

When populations of most defoliators considered to be of importance are 'under control by their natural enemies', the few individuals present tend to occur near the tips of older (lower) leaves facing open areas, such as canals and wide roads. Therefore, during routine sampling, some of the leaves pointing towards these open areas must necessarily be included.

If sampling is only done on palms in the interior of the area (palms that are completely surrounded by other palms), there is a risk of not perceiving a potentially dangerous situation, where the population of a defoliator is increasing in the palms at the edge of a particular site.

Figures 1, 2 and 3 were generated with field data taken during a population increase of *Stenoma cecropia* in Quepos (central Pacific of Costa Rica). These data illustrate the distribution of the population of casings of this defoliator on leaves in different positions on the plant (Fig. 1).

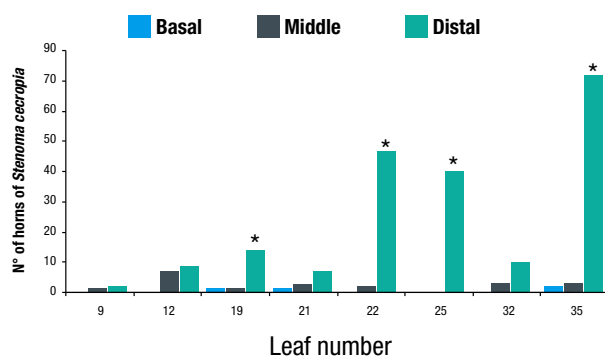


Fig. 1. Number of *Stenoma cecropia* horns on the basal, middle, and distal parts of leaves 9, 12, 19, 21, 25, 32, and 35. It was not established whether the individuals were alive or not, or parasitized. The asterisk at the top of the bars indicates that these leaves were facing a road.

Also, a preference of the insect for the lower leaves oriented towards open areas (wide lanes or channels) was observed (Fig. 2), and the highest population was observed in the palms at the edge of the plantation (Fig. 3). This information supports the suggestion to always include those palms located at the edge of the plantation during sampling.



Fig. 2. Number of *Stenoma cecropia* horns on the last 120 leaflets of the leaf (the "base" corresponds to the first 60 leaflets before reaching the 60 leaflets at the end), on palms at the edge and within the plantation (n=30 leaves). Only lower leaves (between 30 and 35) were sampled, and all horns were counted regardless of whether the larvae were alive or dead. The line indicates one standard deviation.

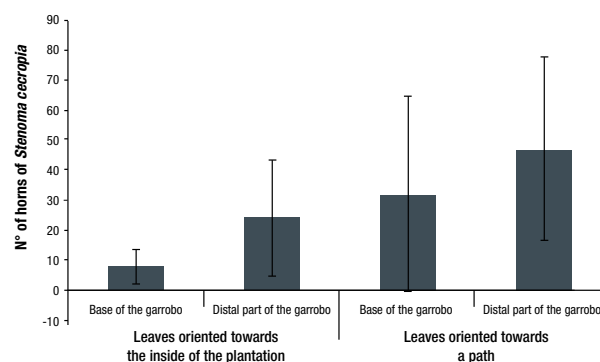


Fig. 3. Number of *Stenoma cecropia* horns on the last 120 leaflets of the leaf (the "base" corresponds to the first 60 leaflets before reaching the upper 60 at the tip). Orientation of the leaves towards a path or towards the inside of the plantation.

Routine sampling for defoliators (before a population increase occurs) can then be done by counting individuals observed only at the tip of the lower leaves, specifically at the distal portion of the leaf beyond the point known locally as the 'garrobo' (a crest or protrusion on the rachis). The 'garrobo' name is due to its similarity to the crest of an iguana, identified by observing the leaf from the upper side at the point where the crest forming the rachis changes from being flat to a sharp protuberance. However, a good estimate of the situation is obtained if the count is made on the last 80 leaflets of the distal portion of each leaf (Fig. 2). It can be assumed that any change in the behavior or number of individuals of any one defoliator on these leaves represents a situation prior to a possible population explosion in the whole area.

The behavior of *Stenoma cecropia* larvae illustrated in the figures is not unique. In other observations with *Opsiphanes cassina*, *Oiketicus kirby* and other leaf

scrapers in Coto (southern Pacific region), similar behavior was found; larvae concentrate towards the tips of leaves, particularly those facing open areas (Figs. 4-7).

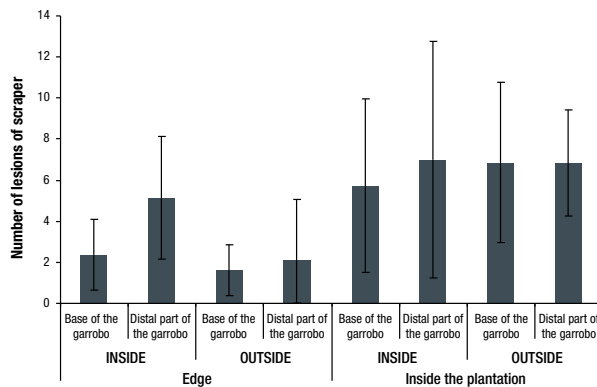


Fig. 4. Number of lesions caused by a scraper on the last 120 leaflets of the leaf (the 'base' corresponds to the first 60 leaflets before reaching the 60 at the tip). Palms at the edge or inside the plantation.

Frequency of sampling

The average duration of the larval stage of most oil palm defoliators is approximately two months. This suggests that visit cycles to a particular area should be carried out within this period, although the availability of manpower largely defines the frequency of visits.

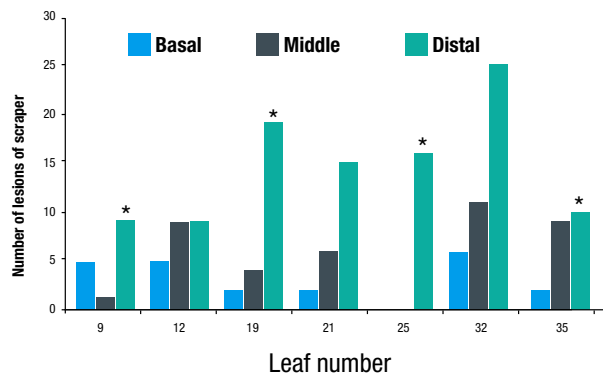


Fig. 5. Number of lesions caused by a scraper on the basal, middle, and distal parts of leaves 9, 12, 19, 21, 25, 32, and 35. It was not determined whether the individuals were alive or parasitized. The asterisk above the bars indicates that these leaves were facing a street.

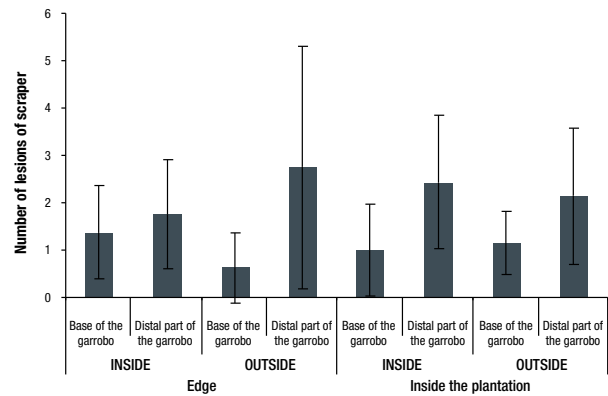


Fig. 6. Number of lesions caused by *Opsiphantes cassina* on the last 120 leaflets of the leaf (the 'base' corresponds to the first 60 leaflets before reaching the 60 at the tip). Palms on the edge or inside the plantation.

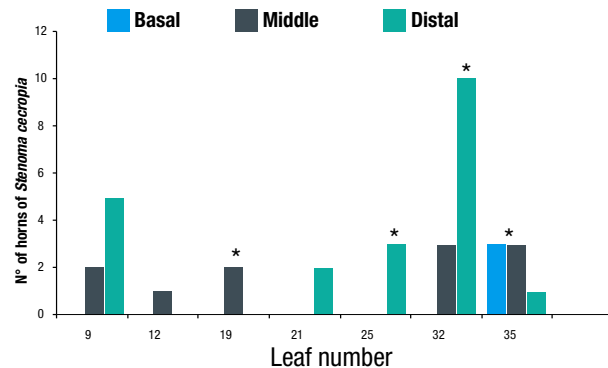


Fig. 7. Number of lesions caused by *Opsiphantes cassina* on the basal, middle, and distal part of leaves 9, 12, 19, 21, 25, 32, and 35. The asterisk indicates that the leaf was facing a street.

The sampling site

For routine sampling (pests under natural control), it is sufficient to check the tip of a leaf, as indicated above. A leaf close to number 33 in the palm phyllotaxy is adequate (there are no really important differences between leaves 30 and 35 for example). If an outbreak of any pest is discovered, leaf 25 (distal end) is sampled. In cases of declared outbreaks with a very high larval population, it may be necessary to sample leaf 17 (or younger), in order to monitor some form of control already carried out, such as an insecticide application, for example.

Economic cost of sampling

Maintaining a permanent group of people carrying out systematic pest sampling in a plantation is economically expensive. However, the case of disease control personnel is different, as this activity is a permanent necessity in most plantations. To make better use of labor resources, it is important to train 'disease' and, 'quality control' staff and even 'fruit cutters' to take partial responsibility for monitoring the pest population.

Under this scheme, crop health is everyone's responsibility, and the (permanent) 'disease' staff is also responsible for reporting any pest population increase. The responsibility of a 'disease control' worker is to report if there is an irregular situation, after which another group of staff is sent to carry out a detailed survey if deemed necessary. In addition, the work of the crop health officer is facilitated by the contribution of the 'quality control' staff (who must necessarily cover a large area each day). The duty of this group is to report any abnormal situation observed in the plantation.

The result is even better, if the 'fruit cutters' can be involved so that they also report what they consider to be an unusual increase in any pest. The most important defoliators are on the older leaves, which are cut during harvesting on a daily basis. Also, harvest cycles are shorter than the periods in which the pest monitoring staff could return to the same place. A quick check of the tips of the leaves cut during harvest provides important information on the possibility of a

population increase of a major defoliator. The field supervisor, area coordinator or similar position would be the liaison between the fruit cutters and the phytosanitary program manager.

Another option to make better use of labor resources is to obtain information about the future harvesting calendar in advance, so that it is possible to coincide the visit of a person (similar to the way quality personnel do) with the visit of the cutters to the different plots, in particular those where important pest outbreaks have already formed in the past. This person only checks a sample of the leaves that have been cut, where he/she will easily notice if the damage or the population of any defoliator is unusual or has changed. In addition, he/she may even determine (count) the damage or population of any insect pests on the terminal third of the leaf, and also broadly delimit the possible outbreak. If indeed something abnormal is evident, the manager will be informed to send specialized personnel to make a more detailed inspection, where they would cut younger leaves to define with more certainty the significance of the threat.

One advantage of this system is that fewer staff are used: the worker does not have to cut leaves (he/she does not carry a 'Malay' knife), so he/she can travel on horseback and the information to be collected is very simple. Visits to the same area can also be more frequent. Only if something of interest is detected is the area checked more thoroughly. A test on a few harvest plots can define in more detail the possible weaknesses and strengths of the method.

References

- Rhainds M, Gries G., Chinchilla C. 1996. Development of a sampling method for first instar *Oiketicus kirbyi* (Lepidoptera, Psychidae) in oil palm plantations. *Journal of Economic Entomology* 89(2): 396-401.
- Rhainds M., Chinchilla C., Gries G. 1993. Desarrollo de un método de muestreo para las larvas de *Opsiphanes cassina* Felder en palma aceitera. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 30:15-18.
- Rojas J., Chinchilla C., Aguilar H. 1993. Seasonal and spatial distribution of *Retracus elaeidis* (Acari: Phytoptidae) and other acarids associated with oil palm in Costa Rica. *Journal of Plantation Crops (India)* 21(2): 97-106.
- Mexzón R., Chinchilla C., Castrillo G., Salamanca D. 1994. Biología y hábitos de *Rhynchophorus palmarum* L. asociado a la palma aceitera en Costa Rica. *ASD Oil Palm Papers* 8: 14-21.
- Chinchilla C. 1995. Opciones al uso unilateral de plaguicidas en el cultivo de la palma aceitera: pasado, presente y futuro. *In*. Opciones al uso unilateral de plaguicidas en Costa Rica. Vol. 2. García, J.; Fuentes G. Monge, J. Eds. Editorial Universidad Estatal a Distancia. p. 35-47.
- Rhainds M., Gries G., Chinchilla C. 1995. Pupation site and emergency time influence the mating success of bagworm females, *Oiketicus kirbyi*. *Entomol. Experimen. et Applicata* 77: 183-187.
- Mexzón R., Chinchilla C. 1996. Enemigos naturales de los artrópodos perjudiciales en palma aceitera en América tropical. *ASD Oil Palm Papers*, 13:9-33.
- Mexzón R., Chinchilla C., Salamanca D. 1996. The biology of *Sibine megasomoides*, Lepidoptera, Limacodidae: observations of the pest in oil palm in Costa Rica. *ASD Oil Palm Papers* 12: 1-10.
- Loría R., Chinchilla C., Domínguez J., Mexzón R. 2000. Una trampa efectiva para capturar adultos de *Opsiphanes cassina* y observaciones del comportamiento de la plaga en palma aceitera. *ASD Oil Palm Papers*, 21: 1-8.
- Oehlschlager A. C., Chinchilla C., Castrillo G., González L. 2002. Control of red ring disease by mass trapping of *Rhynchophorus palmarum*. *Florida Entomologist* 85(3):507-513.
- Chinchilla C. 2003. Manejo integrado de problemas fitosanitarios en palma aceitera, *Elaeis guineensis* en América Central. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)*. 67: 69-82.
- Mexzón R., Chinchilla C., Rodríguez R. 2003. El gusano canasta, *Oiketicus kirbyi* Lands G. como plaga de la palma aceitera, *ASD Oil Palm Papers*. 25: 17-23.