

Tasa de Expansión Foliar: Un Criterio para Identificar Materiales de Siembra de Palma Aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) que Pueden Sembrarse a Altas Densidades¹

C.J. Breure²

Resumen

El objetivo de este estudio fue identificar materiales de siembra de palma aceitera que pudieran sembrarse a densidades mayores que las tradicionales. Para tal fin se siguió la expansión foliar de varias progenies ténera descendientes de padres pisífera de los orígenes Ekona, Nigeria y Calabar para ajustar curvas de crecimiento logístico del área foliar de la hoja más joven completamente desarrollada, en función de la edad de la palma. Al mismo tiempo se obtuvieron estimados (asintóticos) del área foliar máxima obtenida (L_{\max}) y el tiempo para alcanzar 95% de L_{\max} ($t_{0.95}$). El trabajo se realizó en el sur de Sumatra, en donde existe una alta radiación solar y la precipitación pluvial anual es de aproximadamente 2500 mm. Durante los primeros cinco años después de la siembra cuando el follaje se cierra (fase 1 de la expansión foliar), el área de las hojas individuales de los tres orígenes fue similar, aunque con una ligera ventaja del origen Nigeria. Durante el segundo periodo de cinco años (fase 2), la expansión del follaje varió mucho más entre orígenes: Calabar alcanzó $t_{0.95}$ a los 6.9 años después de la siembra, comparado con 7.4 años para Nigeria y 8.8 años para Ekona. Calabar mostró, durante la fase 3 (área foliar estable), un menor valor de L_{\max} (7.99 m²) con respecto a los otros dos orígenes (9.63 m² y 10.11 m² para Nigeria y Ekona, respectivamente).

Las curvas logísticas de crecimiento se usaron también para calcular el índice de área foliar (IAF: la relación entre el área foliar total y la superficie de suelo cubierta). Se asumió que el IAF óptimo para alcanzar los máximos rendimientos por hectárea se encuentra entre 5.5 y 6.0. Si se utiliza la densidad estándar de 143 palmas por ha (la densidad empleada en este ensayo fue de 135 palmas por ha), el IAF sería de 5.6 para Ekona, 5.4 para Nigeria y 4.5 para Calabar, cuando se alcance el tamaño máximo del follaje (fase 3). Debido a que el IAF de Calabar está bastante por debajo del ámbito óptimo, se concluye que la densidad a que se puede plantar Calabar puede ser incrementada a 160 palmas por ha; lo cual daría un IAF de 5.0 en la fase 3.

La habilidad combinatoria general (HCG: el efecto genotípico aditivo de los padres) para el rendimiento de racimos de fruta y para L_{\max} varió considerablemente entre los padres pisífera individuales. En particular, algunos padres pisífera de origen Nigeria, mostraron altos valores de HCG para el rendimiento con valores bajos para L_{\max} . Esta relación inversa ofrece la posibilidad para la selección de padres pisífera para producir progenies ténera que puedan plantarse a mayores densidades. Se concluye también que el valor de L_{\max} es un criterio más apropiado para estimar la densidad óptima de siembra, con respecto al método convencional que se basa en la medición del área foliar promedio.

Palabras clave: índice de área foliar, orígenes de palma aceitera, pisífera, densidad de siembra.

¹ Trabajo publicado originalmente en idioma inglés: C.J. Breure, Rate of leaf expansion: A criterion for identifying oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) types suitable for planting at high densities, NJAS -Wageningen J. Life Sci. (2010), doi:10.1016/j.njas.2010.03.001

² ASD Costa Rica, cj_breure@yahoo.com; tel: HP: 62-(0)81377553858, Tel./fax: 62-(0)711-354050 (Indonesia)

Introducción

Expansión de la corona de hojas en palma aceitera

El sol provee la energía que utiliza la fotosíntesis para producir materia seca. La competencia por luz aumenta conforme se incrementa la densidad de siembra, así como con la expansión del follaje a medida que las palmas se desarrollan con la edad.

La expansión del follaje puede ser separada en tres fases (Breure 2003): la fase 1 comprende el periodo desde la siembra hasta que el follaje se cierra, y dura unos cinco años cuando se utiliza el espaciamiento de siembra estándar. En la fase 2, el área de las hojas más jóvenes completamente abiertas continúa incrementándose hasta que se obtiene un tamaño máximo que se mantiene estable a partir de ese momento. La fase 3 es el periodo de estabilización. En ambientes favorables, la expansión del follaje toma aproximadamente diez años, pero este periodo se alarga en condiciones subóptimas, como las que ocurren, por ejemplo, en África del oeste (Corley et al. 1973).

Estimación del área foliar

El área foliar promedio se ha utilizado comúnmente para estimar la densidad óptima de siembra para un material de siembra determinado en un ambiente particular (Corley et al. 1973; Smith et al. 1996). Dado que el tamaño final del follaje (fase 3) tiene un efecto sobre la fotosíntesis durante el periodo más largo en la producción de racimos, la estimación del área foliar es particularmente relevante cuando las plantas alcanzan diez o más años de edad. Mediciones frecuentes son necesarias para obtener un estimado confiable del área foliar promedio, ya que el tamaño de las hojas individuales puede cambiar como resultado de variaciones en el ambiente y la carga de racimos (Corley y Breure 1992). Se concluye que el seguimiento del área foliar durante varios años en palmas adultas no es práctico para obtener información para estimar la densidad de siembra de un determinado material.

El crecimiento de las hojas nuevas se detiene una vez que estas se abren por completo. Breure (1985) mostró que distintas progenies de palma aceitera pueden diferir marcadamente en la tasa de expansión del área foliar, i.e. el incremento en área de la hoja más joven en desarrollo en función del tiempo, así como su tamaño final.

El área de hojas individuales obtenida asintóticamente (L_{\max}) y el tiempo para alcanzar 95% de L_{\max} ($t_{0.95}$) fueron estimados a partir de una curva de crecimiento logístico que se ajustó a través del área de la hoja más joven expandida y los años después de la siembra, durante el periodo anterior a la estabilización del área foliar. Si bien es cierto que esta curva fue obtenida con un número reducido de mediciones, se pueden obtener estimados confiables del área foliar de hojas maduras individuales antes que el follaje alcance su tamaño final y L_{\max} es entonces una alternativa más apropiada para estimar la densidad de siembra óptima. Este artículo sigue este enfoque.

Índice óptimo de área foliar

El índice de área foliar (IAF) es usado para describir el grado de competencia por luz entre plantas. En palma aceitera, el IAF es estimado mediante el producto del número de palmas en una hectárea, el número de hojas por palma y su área foliar promedio. El valor óptimo de IAF (i.e. el valor que se asocia con el máximo rendimiento de racimos por hectárea) depende del sitio particular (Von Uexküll et al. 2003). Para las condiciones ambientales (alta radiación solar) del sureste asiático, se acepta que este valor de IAF está entre 5.5 y 6.0.

Considerando lo anterior, se obtendrían rendimientos máximos en forma más temprana cuando el valor óptimo de IAF se alcanza más pronto en la vida de la plantación. Una opción para lograr esto es aumentar la densidad de siembra, pero un menor espaciamiento entre palmas puede originar un IAF que excede el óptimo, lo cual se traduce en menores rendimientos posteriormente (Breure 1988). La producción de los compo-

nentes de la materia seca determinada en este estudio durante el periodo entre los seis y los nueve años después de la siembra se muestra en la figura uno.

La figura 1 muestra que el total de materia seca (parte aérea) producido por hectárea en términos de la cantidad de carbohidratos sintetizados (CH_2O por día) se incrementa en forma asintótica como una función del IAF, y que se estabiliza con valores de IAF mayores que seis aproximadamente. En contraste, la producción de materia seca vegetativa continúa incrementándose en forma lineal aún con valores del IAF superiores a seis. La figura 1 también muestra que la diferencia, i.e. la cantidad de CH_2O que puede ser utilizada para producir racimos, se incrementa inicialmente como una función del IAF hasta que alcanza su máximo. En la figura 1, esto ocurre cuando el IAF es

igual a 5.6, lo cual se indica con la flecha vertical. La producción de materia seca de los racimos decrece por encima de este valor, ya que la competencia por luz entre las palmas se convierte en un factor limitante para la producción total de materia seca.

Para minimizar los efectos negativos de un espaciamiento muy cercano entre palmas, se pueden desarrollar materiales de siembra con una expansión rápida del follaje (bajo valor de $t_{0.95}$) y que alcancen una menor área máxima de las hojas individuales (L_{max}), lo cual permite que se establezcan con valores menores de IAF (Breure 1985). Cuando estos materiales se siembren a mayores densidades, la producción de materia seca en los racimos estará menos afectada por la competencia en palmares adultos.

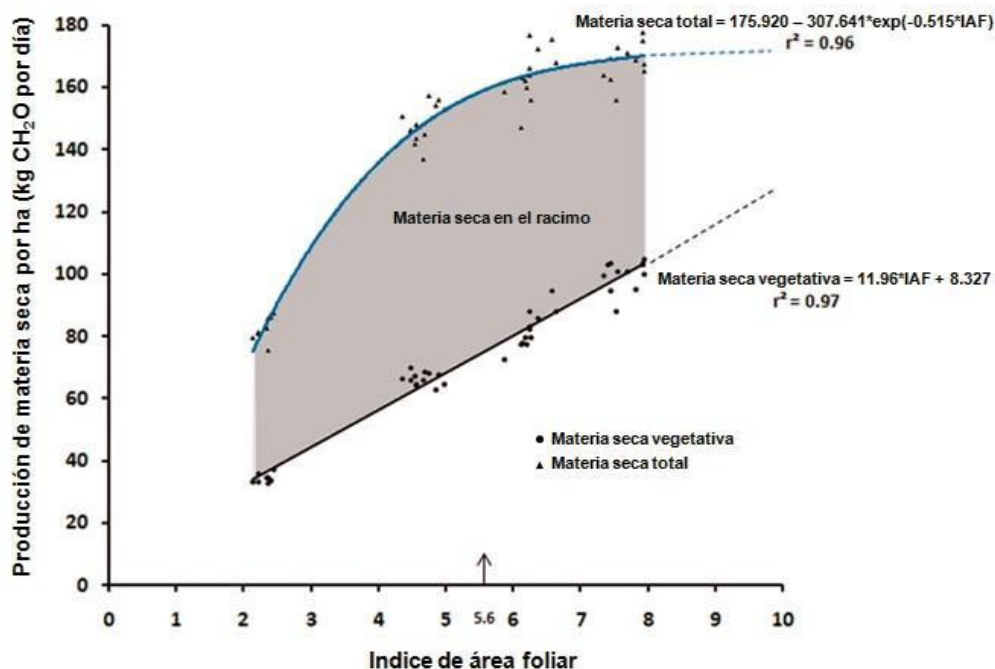


Fig 1. Relación entre la materia seca total (total DM), materia seca vegetativa (vegetative DM) y materia seca de los racimos (bunch DM) e índice de área foliar (IAF). Las curvas para producción de materia seca total y producción de materia seca vegetativa fueron ajustadas a través de los valores de las subparcelas plantadas a 56, 110, 148 y 186 palmas por ha en un experimento sobre densidades de siembra plantado en Papua Nueva Guinea (Breure 1988). Los datos corresponden a un periodo entre los seis y nueve años de edad de las plantas después de la siembra en el campo. El valor máximo de materia seca en los racimos por hectárea, como se indica en el eje, "y" fue obtenido con un valor de IAF = 5.6

Objetivos y Enfoque

Se investigó sobre la posibilidad de que el tipo de material con las características favorables descritas anteriormente, pudiera estar presente dentro de lo que está disponible comercialmente. Para esto se utilizó un experimento sembrado con progenies ténera descendientes de padres pisífera obtenidos de distintos orígenes. Mientras que la mayoría de los suplidores de semilla de palma aceitera utilizan únicamente madres Deli dura, los padres pisífera son usualmente de un grupo menos limitado de orígenes. En particular, ASD (Costa Rica), un suplidor bien conocido de semillas de palma aceitera, utiliza un grupo más amplio de padres pisífera de varios orígenes.

Se determinó la producción de racimos de fruta, el área foliar y el IAF de tres orígenes de pisífera (Ekona, Nigeria y Calabar) de ASD. Los valores de IAF fueron derivados de las curvas logísticas y utilizados para estimar la densi-

dad óptima de siembra, y en particular para verificar el comportamiento observado en Guatemala, de que el origen Calabar podía ser sembrado a 160 palmas por ha (F. Peralta, comunicación personal). Para complementar el uso del IAF para definir la densidad óptima de siembra, los valores de IAF se usaron también para estimar la interceptación de luz en el follaje una vez que este había cerrado (fases 2 y 3). Finalmente, el trabajo también contempló el estudio de los valores de la habilidad combinatoria general (HCG), i.e. el efecto genético aditivo de los padres sobre el desempeño de la descendencia ténera. Para cada padre pisífera individual se estimaron los valores de HCG correspondientes a rendimiento y L_{max} . El objetivo fue explorar las posibilidades de seleccionar padres individuales pisífera que combinaran un alto valor de HCG para rendimiento y un bajo valor para L_{max} en la fase 3 de desarrollo de las palmas.

Materiales y Métodos

Material de siembra

Este trabajo se basa en los datos sobre rendimiento y crecimiento vegetativo de un grupo de 425 progenies ténera generadas por ASD en Costa Rica a partir de cruces dura x pisífera. Se utilizaron 200 madres dura, todas del tipo Deli obtenidas de varios programas de mejoramiento en el sureste asiático, y 50 padres pisífera de seis orígenes distintos (Breure 2006). Los resultados se enfocan en tres de estos orígenes pisífera (Ekona, Nigeria y Calabar), representados por 10, 6, y 8 palmas respectivamente. Las progenies tenera descendientes de estos tres orígenes de pisífera se consideran lo mejor del material de siembra de estos orígenes en ASD.

El esquema de cruces para generar las progenies se hizo según un diseño alfa (Patterson et al. 1978) con bloques incompletos. Cada palma madre dura fue polinizada por dos padres pisífera y cada palma pisífera polinizó nueve palmas dura individuales. No obstante,

algunos cruces no generaron semilla viable y al final se obtuvieron 84, 51 y 64 progenies para Ekona, Nigeria y Calabar, respectivamente, las cuales fueron plantadas en el sur de Sumatra en enero de 1997 en tres repeticiones con 16 palmas por parcela (48 palmas por progenie) a una densidad de 135 palmas por ha. La radiación solar en el sitio se considera alta y la precipitación es de alrededor de 2500 mm por año.

Procesamiento de la información

Se determinó el rendimiento de racimos de fruta fresca por palma durante seis años a partir del momento que se inició la producción en junio de 1999. El área foliar de la primera hoja joven completamente expandida se estimó anualmente durante los primeros ocho años, para lo cual se utilizó el método de Hardon et al. (1969). Para cada origen, se fijó una curva logística de crecimiento a través de los valores promedio de área foliar de cada grupo de progenies descendientes de cada padre pisífera individual. Los valores de área foliar de esta

curva se estimaron como $A/[1 + B \times \exp(-C \times T)]$, donde T = años después de la siembra y A , B y C son constantes. Las curvas logísticas de crecimiento también fueron ajustadas a través de los valores de área foliar de las progenies individuales. El máximo de área foliar L_{\max} obtenido (asintótico) y el tiempo para alcanzar 95% de L_{\max} ($t_{0.95}$) se estimaron de acuerdo con el método descrito por Breure y Verdooren (1995).

Para cada año, el área foliar total por palma se calculó como el producto del número de hojas y su área promedio. El número de hojas fue obtenido del informe de Gerritsma y Soebagyo (1999) en donde se sigue el procedimiento usualmente utilizado en Indonesia para la poda de hojas. Como resultado de la poda de hojas (para lograr acceso hacia los racimos durante la cosecha), ocurre una disminución aproximadamente lineal del número de hojas por palma en función de su edad, desde unas 60 hojas a los dos años de edad hasta un número más o menos estable de 38 para palmas de 12 o más años. Este informe, al igual que Corley et al. (1973), muestran que no hubo efecto de la densidad de siembra sobre el número de hojas verdes por palma en el ámbito de densidades que se usó en el presente estudio.

La producción anual de hojas por palma decrece con la edad, desde aproximadamente 42 hojas en el segundo año después de la siembra hasta unas 22 en palmas de 10 o más años de edad. De esta manera, el área foliar total en cierto momento fue calculada como el promedio de las hojas producidas durante los últimos 18 meses (estos valores se obtuvieron de las curvas de crecimiento logístico). El área promedio del follaje en un año particular se estimó a partir de los datos de área foliar al principio y final del año. Dado que la tasa de emisión foliar fue similar en los tres orígenes durante el periodo entre los dos y los ocho años de edad de las plantas (26.4, 26.3 y 26.0 hojas por año para Ekona, Nigeria y Calabar, respectivamente), se utilizó el mismo método para estimar el área foliar total por palma en todos ellos.

El área foliar total por palma a la densidad de 135 palmas por ha se usó para estimar el IAF

correspondiente a la densidad de siembra usual de 143 palmas por ha. Para el caso del origen Calabar, también se estimó el IAF para un espaciamiento de 160 palmas por ha.

La extrapolación de 135 a 143 y de 143 a 160 palmas por ha se justifica hasta cierto punto, i.e. hasta que el área de las hojas individuales se aproxima a su tamaño final en la fase 2, lo cual sucedió en las condiciones de este trabajo a aproximadamente los diez años de edad de las plantas. Durante este periodo, el área foliar es solo significativamente más pequeña a los diez años, si la densidad de siembra se incrementa a 160 palmas por ha (Breure 1982). Sin embargo, existe una tendencia negativa en L_{\max} con el incremento desde 110 hasta 186 palmas por ha (Breure 1985), de manera que si se incrementa la densidad de siembra desde 135 a 143 y luego a 160 palmas por ha, se puede inferir que el área foliar total por palma no decrece sensiblemente durante las fases 1 y 2, mientras que L_{\max} se reduciría proporcionalmente. Dicho de otra forma, los valores de IAF basados en el valor de L_{\max} a la densidad utilizada en el experimento de 135 palmas por ha son sobreestimadas a las densidades supuestas de 143 y 160 palmas por ha.

Finalmente, la interceptación parcial de luz (f) en las fases 2 y 3 (luego del cierre del follaje) fue calculada a partir de los valores de IAF, donde f es el inverso de la cantidad de luz que penetra el follaje. Los cálculos se hicieron según la ecuación sugerida por Squire, G.R. (1984), utilizando un coeficiente medio de extinción (k) de 0.37 para los años 6-8, 0.44 para los años 9-11 y 0.35 para los años 12-15, tal como fue encontrado por Breure (1988) en siembras comerciales en Papúa Nueva Guinea e Indonesia:

$$f = 1 - \exp[-k(\text{IAF} - 0.3)]$$

Se utilizó un modelo lineal (Breure y Verdooren 1995) para estimar la habilidad combinatoria general (HCG), i.e. el efecto genotípico aditivo de los padres sobre el desempeño (en términos de rendimiento de fruta y L_{\max}) de la descendencia ténera, para cada una de las palmas pisífera individuales (10 para Ekona, 6 para Nigeria y 8 para Calabar).

La media general, calculada a través de todas las familias ténera derivadas de los cruces dura x pisífera, se añadió a los valores de HCG para obtener valores que representaran el desempeño real de la descendencia ténera. A

partir de estos rendimientos por palma, se hizo una inferencia sobre la ganancia en rendimiento en caso de que el material fuera sembrado a una densidad mayor de 160 palmas por ha, como en el caso del Calabar.

Resultados

Área foliar

La curva de crecimiento logístico para el área foliar en función de la edad de la planta, se ajustó bastante bien para todos los orígenes genéticos durante los ocho años de colección de datos (r^2 varió entre 0.89 y 0.92; Fig. 2). Durante la fase 1, la tendencia en la expansión del follaje fue similar en los tres orígenes, aunque con una ligera ventaja para Nigeria.

Durante la fase 2, los tres orígenes alcanzaron 95% del máximo del área foliar, pero en diferentes periodos después de la siembra:

Calabar (6.9 años), Nigeria (7.4 años) y Ekona (8.8 años). Calabar alcanzó un valor de L_{max} de solamente 7.99 m², comparado con 9.63 m² en Nigeria y 10.11 m² en Ekona. Las diferencias entre orígenes en cuanto a área foliar y L_{max} fueron altamente significativas (Cuadros 1 y 2).

L_{max} (Cuadro 1) y el área foliar promedio (Cuadro 2) fueron menores en Calabar, mientras que L_{max} en Ekona fue el mayor (10.11 m²) y el área foliar promedio de Nigeria fue la mayor (6.24 m²).

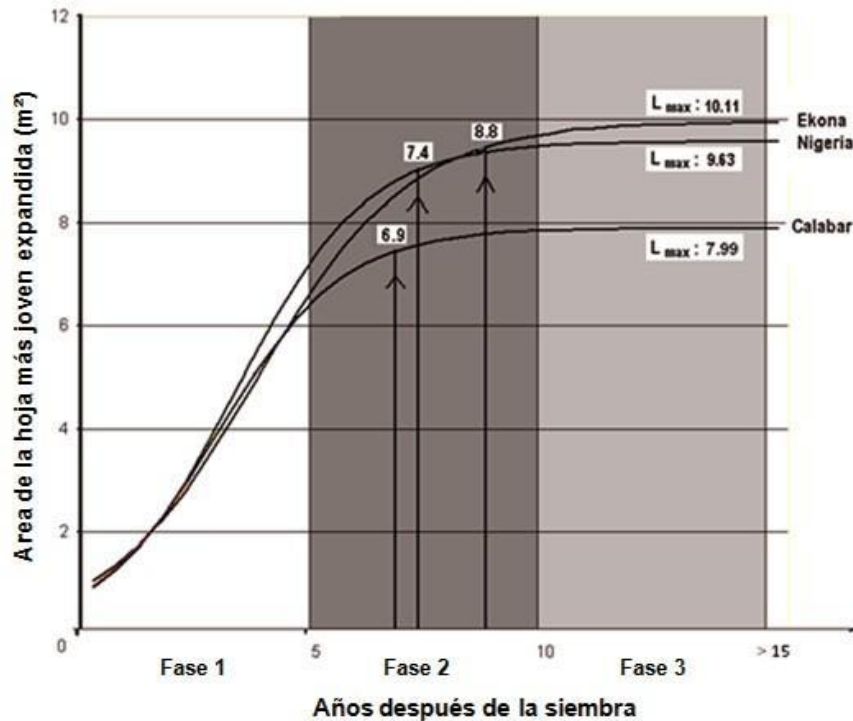


Fig.2. Área de la hoja más joven completamente expandida en función de la edad de la palma en años, para los orígenes Ekona, Nigeria y Calabar. El periodo comprende las tres fases de expansión de la corona de hojas. La flecha vertical indica los valores de $t_{0.95}$ (tiempo para alcanzar 95% de L_{max})

Cuadro 1. Área media máxima (L_{max}) para los orígenes Ekona, Nigeria y Calabar plantados a 135 palmas por ha

| Orígenes | $L_{max}(m^2)$ promedio | 95% intervalo de confianza | Diferencias entre orígenes | | Probabilidad |
|----------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|------|--------------|
| | | | | | |
| Ekona | 10.11 | 9.90 - 10.32 | Ekona vs Nigeria | 0.48 | 0.007 |
| Nigeria | 9.63 | 9.36 - 9.91 | Ekona vs Calabar | 2.12 | 0.000 |
| Calabar | 7.99 | 7.74 - 8.32 | Nigeria vs Calabar | 1.64 | 0.000 |

Cuadro 2. Área foliar promedio (m^2) durante los primeros ocho años después de la siembra en los orígenes Ekona, Nigeria y Calabar sembrados a 135 palmas por ha

| Orígenes | Área foliar (m^2) | Diferencias entre orígenes | | Probabilidad |
|----------|-----------------------|----------------------------|-------|--------------|
| | | | | |
| Ekona | 5.97 | Ekona vs Nigeria | -0.27 | 0.001 |
| Nigeria | 6.24 | Ekona vs Calabar | 0.46 | 0.000 |
| Calabar | 5.51 | Nigeria vs Calabar | .73 | 0.000 |

Índice de área foliar

La figura 3 muestra los valores promedio de IAF para una densidad estimada de 143 palmas por ha, que es la normalmente usada en plantaciones comerciales. Los datos se extrapolaron a partir de la densidad de 135 palmas por ha utilizada en este experimento. El valor óptimo de IAF de 5.5-6.0 utilizado como referencia, se indica con una barra horizontal. Los intervalos de confianza al 95% se muestran en el cuadro 3.

Como podría ser inferido a partir de la curva logística en la figura 2, los tres orígenes presentaron valores de IAF similares durante la fase inicial de desarrollo. No obstante, el valor para Nigeria (2.37) fue significativamente mayor que para Calabar (2.28) y Ekona (2.27) (Cuadros 3 y 4).

Durante la fase 2, Nigeria y Ekona alcanzaron valores cercanos al óptimo en el valor del IAF relacionados con los rendimientos máxi-

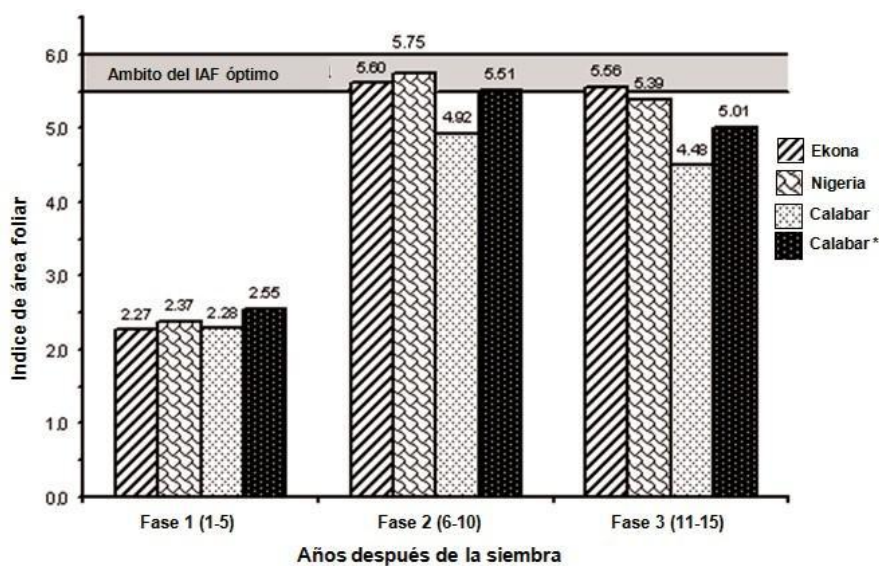


Fig. 3. Índice de área foliar de Ekona, Nigeria y Calabar estimadas para una densidad de 143 palmas por ha, y Calabar* estimada para una densidad de 160 palmas por ha durante las tres fases de expansión del follaje. La barra horizontal indica el ámbito de IAF óptimo.

mos de racimos. Sin embargo, el origen Calabar no alcanzó en esta etapa ni siquiera el límite inferior de 5.5 (dentro de un intervalo de confianza del 95 % de 4.79-5.05; Cuadro 3).

Cuando el tamaño del área foliar de la hoja alcanzó un máximo estable durante la fase 3, el IAF influyó el principal periodo de producción de racimos (aproximadamente 15 años comparado con cinco durante la fase 2). Por esta razón, el IAF durante la fase 3 puede ser visto como una medida confiable para establecer la densidad óptima de siembra de un material particular en un ambiente dado.

Los valores del IAF durante la fase 3 fueron inferiores a los de la fase 2 (Fig. 3). Esta reducción es producto de dos factores: un menor número de hojas debido a la poda asociada a la cosecha de los racimos en palmas muy altas y una menor tasa de producción de hojas en palmas adultas (fase 3) con respecto a las jóvenes (Gerritsma y Soebagyo 1999). No obstante, el límite superior del IAF para el intervalo de confianza del 95% para Nigeria y Ekona (5.56 y 5.69, respectivamente) se encuentra dentro del ámbito óptimo. En contraste, el IAF para Cala-

bar se estabiliza por debajo el valor requerido para obtener los rendimientos de racimos máximos, de manera que para explotar plenamente el potencial productivo de este material, sería necesario plantarlo a una densidad superior a 143 palmas por ha.

Si asumimos que Calabar se planta a 160 palmas por ha, con respecto a la densidad estándar de 143 palmas por ha, este incremento de 12% resulta en un aumento del IAF de 4.48 a 5.01 en la fase 3 (Fig. 3). Es interesante que durante el cierre del follaje (fase 1), el IAF de Calabar de 2.55 (a 160 palmas por ha) es significativamente mayor que el de los otros dos orígenes sembrados a 143 palmas por ha (2.37 y 2.27: Nigeria y Ekona, respectivamente; Cuadro 4).

Intercepción de luz

En la figura 4 se muestra que el porcentaje de intercepción de luz en cada origen durante la fase 2 de expansión del follaje es superior que durante la fase 3. Breure (2003) anota que existen al menos dos factores responsables para este comportamiento: 1) la

Cuadro 3. Índice de área foliar promedio (IAF) y los intervalos de confianza al 95% de las medias estimadas durante las tres fases de expansión del follaje para los orígenes Ekona, Nigeria y Calabar plantados a una densidad de 143 palmas por ha y para Calabar* plantado a 160 palmas por ha

| | Media del IAF | | | Or | Intervalo de confianza (95%) | | |
|----------|---------------|--------|--------|----|------------------------------|-------------|-------------|
| | Fase 1 | Fase 2 | Fase 3 | | Fase 1 | Fase 2 | Fase 3 |
| Ekona | 2.27 | 5.60 | 5.56 | | 2.23 - 2.30 | 5.48 - 5.71 | 5.43 - 5.69 |
| Nigeria | 2.37 | 5.75 | 5.39 | | 2.32 - 2.42 | 5.61 - 5.90 | 5.23 - 5.56 |
| Calabar | 2.28 | 4.92 | 4.48 | | 2.24 - 2.32 | 4.79 - 5.05 | 4.33 - 4.63 |
| Calabar* | 2.55 | 5.50 | 5.01 | | 2.51 - 2.59 | 5.38 - 5.64 | 4.86 - 5.16 |

Cuadro 4. Diferencias en el valor del IAF entre orígenes (Ekona y Nigeria vs. Calabar) estimadas para una densidad de 143 palmas por ha, y vs Calabar* estimada para una densidad de 160 palmas por ha, durante las tres fases de expansión del follaje

| Orígenes | Fase 1 (1-5) | | Fase 2 (6-10) | | Fase 3 (11-15) | |
|---------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|----------------|--------------|
| | Diferencia | Probabilidad | Diferencia | Probabilidad | Diferencia | Probabilidad |
| Ekona vs Nigeria | -0.10 | 0.000 | -0.15 | 0.101 | 0.17 | 0.111 |
| Ekona vs Calabar | -0.01 | 0.734 | 0.68 | 0.000 | 1.08 | 0.000 |
| Ekona vs Calabar* | -0.28 | 0.000 | 0.09 | 0.299 | 0.55 | 0.000 |
| Nigeria vs Calabar | 0.09 | 0.002 | 0.83 | 0.000 | 0.91 | 0.000 |
| Nigeria vs Calabar* | -0.18 | 0.000 | 0.24 | 0.014 | 0.38 | 0.001 |

producción de hojas durante la fase 3 es menor y también se pierden más hojas durante la poda realizada para cosechar los racimos en palmas cada vez más altas, todo lo cual resulta en un IAF menor (sección anterior), y 2) para un valor dado de IAF, la fracción de luz interceptada decrece (menor valor de k), lo cual puede ser atribuido a un cambio en el ángulo de la hoja en combinación con una mayor variación en la altura de las plantas conforme estas crecen. Estos fenómenos en palmas más viejas ocasionan que haya menor soporte entre hojas de palmas contiguas durante la fase 3. Durante la fase 2, las diferencias en interceptación de luz entre los tres orígenes no fueron significativas, pero durante la fase 3, Calabar sembrado a 160 palmas por ha interceptó significativamente menos luz que los otros dos orígenes (Cuadro 5).

Habilidad combinatoria general (HCG)

Los ámbitos de valores de HCG para L_{max} de las palmas pisífera Calabar, Ekona y Nigeria fueron 7.20-8.52, 9.05-11.49 y 8.59-10.32 m^2 respectivamente. Lo interesante es que estos valores no se relacionan con aquellos para rendimiento de racimos. En el caso de las palmas de origen Nigeria, esta relación es aún ligera-

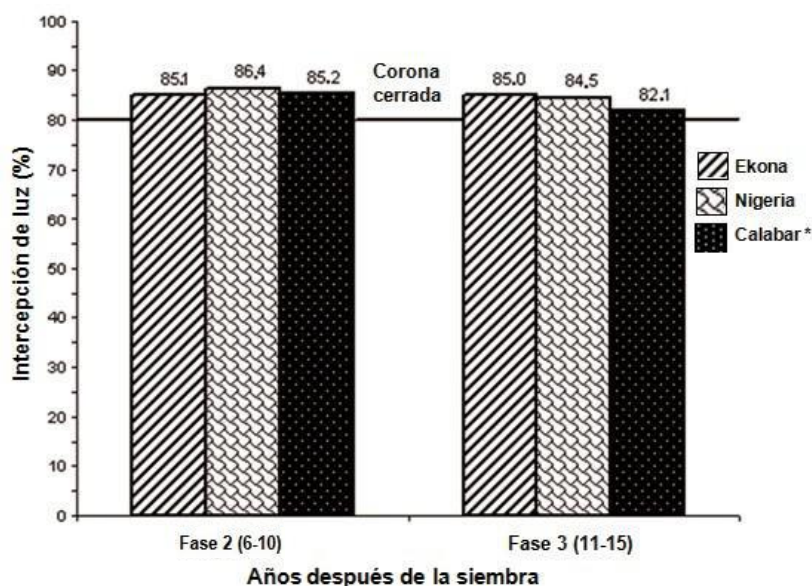


Fig. 4. Porcentaje de interceptación de luz por el follaje calculado para los orígenes Ekona y Nigeria estimados para una densidad de siembra de 143 palmas por ha, y para Calabar* estimado para una densidad de 160 palmas por ha, durante las fases 2 y 3 de expansión del follaje. El cierre del follaje (canopy closure) ocurre con 80% de interceptación de luz (Breure 1988).

mente negativa ($r = -0.36$ y no significativa) (Fig. 5).

La palma N1, con el valor más alto de HCG para rendimiento de racimos mostró el menor valor de L_{max} . Por otro lado, la palma N6 con un valor similar para rendimiento tuvo el máximo valor de L_{max} . Esto implica que la selección para obtener la mejor combinación de alto rendimiento y bajo L_{max} es posible.

Cuadro 5. Diferencias en el porcentaje de interceptación de luz entre los orígenes Nigeria y Ekona estimadas para una densidad de 143 palmas por ha, y diferencias entre Ekona y Nigeria vs. Calabar* estimada para una densidad de 160 palmas por ha durante la fase 2 de expansión del follaje

| Pares de orígenes | Fase 2 (6-10 años) | | Fase 3 (11-15 años) | |
|---------------------|--------------------|--------------|---------------------|--------------|
| | Diferencia | Probabilidad | Diferencia | Probabilidad |
| Nigeria vs Ekona | 1.3 | 0.083 | -0.5 | 0.555 |
| Ekona vs Calabar* | 0.1 | 0.971 | 2.9 | 0.000 |
| Nigeria vs Calabar* | 1.2 | 0.108 | 2.4 | 0.010 |

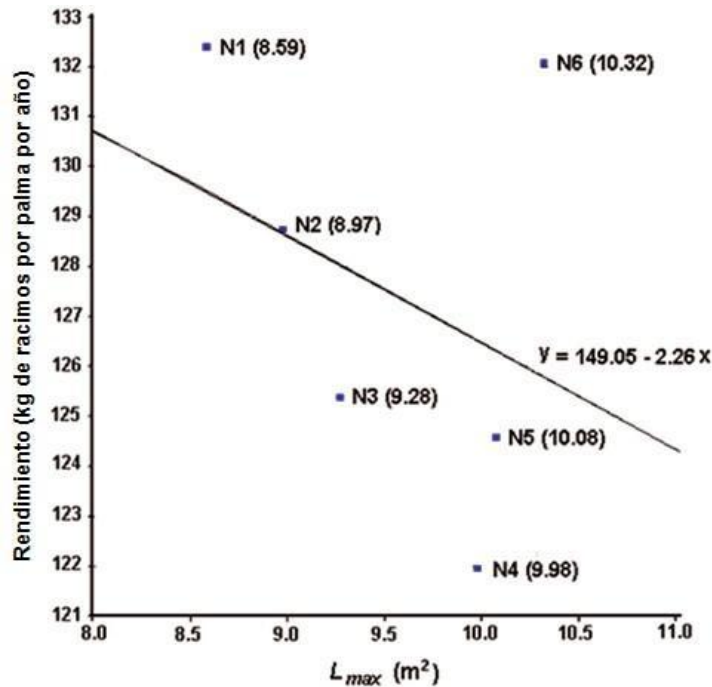


Fig. 5. Habilidad combinatoria general (HCG) para el rendimiento de racimos y para L_{max} (en paréntesis) de seis palmas pisífera Nigeria (N1-N6)

Discusión

Área foliar

Las curvas logísticas de crecimiento son una herramienta útil para estimar el área de hojas individuales durante toda la vida de una plantación de palmas. Este tipo de curvas describe el área foliar durante el periodo de madurez del follaje (L_{max}), así como la tasa de incremento hasta que se alcanza este máximo.

Los valores medios del área foliar en los tres orígenes (Calabar, Nigeria y Ekona) fueron estadísticamente diferentes durante los primeros ocho años después de la siembra. No obstante, los patrones comparativos de los datos de estos orígenes parecen ser un indicador bastante pobre del área foliar de un origen cuando se alcanza la madurez del follaje (L_{max} en el cuadro 1). Se detectan dos discrepancias entre ambas mediciones. En primer lugar, el ordenamiento de los orígenes con respecto a la magnitud de L_{max} y área foliar son diferentes:

Nigeria (1), Ekona (2), Calabar (3) vs Ekona (1), Nigeria (2), Calabar (3), respectivamente. En segundo lugar, los valores promedio del área foliar de Calabar (5.51 m²) y Ekona (5.97 m²) no reflejan el ámbito pronunciado de los valores de L_{max} de ambos orígenes (7.99 - 10.11 m², respectivamente).

El ajuste de una curva logística de crecimiento confiable requiere de solo cinco puntos (valores promedio de área foliar de las progenies individuales de cada origen), que deben ser colectados aproximadamente a los 6, 12, 42, 66 y 90 meses después de la siembra. Este es el periodo antes de que el follaje alcance su máximo desarrollo (Breure y Verdooren 1995); lo que es una ventaja adicional sobre la forma tradicional de estimar el área foliar promedio.

Breure (en preparación) calculó los intervalos de confianza (95%) de L_{max} para muestras

de varios tamaños y encontró, como era esperable, que un número de 30 progenies de cada origen, que involucraran cinco pisífera, debería de ser suficiente para obtener resultados estadísticamente confiables para respaldar la comparación de los tres orígenes estudiados. Adicionalmente, utilizando el valor de L_{max} estimado para un origen en un ambiente particular, se puede obtener un estimado confiable de IAF y, por lo tanto, de la densidad de siembra óptima, asumiendo que hay 38 hojas en una palma adulta.

Índice de área foliar óptimo

Si se acepta la asunción de que el valor óptimo de IAF para alcanzar los rendimientos máximos de racimos en palma aceitera se encuentra entre 5.5 y 6.0, resulta evidente que la descendencia ténera de las pisíferas Calabar puede ser plantada a 160 palmas por ha. En contraste, los orígenes Ekona y Nigeria no deberían plantarse más allá de 143 palmas por ha.

Corley y Tinker (2003) indican que el rendimiento por palma durante los primeros años es aproximadamente el mismo dentro de un ámbito de densidades. En un estudio más reciente, Nazeeb et al. (2007) encontraron que un incremento en la densidad desde 143 a 160 palmas por ha para el material de siembra estándar de su experimento, no afectó el rendimiento por palma durante los primeros cuatro años de producción. Es probable que para el caso de Calabar, esto sea cierto por un periodo aún mayor, debido a dos factores: 1) las hojas de Calabar detienen su expansión poco después de que se alcanza el punto cuando se cierra el follaje y 2) L_{max} decrece como una función de la densidad de siembra (Breure 1985). Como consecuencia, se espera que el IAF de Calabar, estimado cuando el follaje está maduro, sea menor que el que aparece en la figura 3, y de esta forma se puede concluir que un incremento en la densidad desde 143 a 160 palmas por ha incrementaría el rendimiento anual de racimos en aproximadamente 12%, durante al menos, los primeros 5-6 años de producción.

La superioridad del origen Calabar plantado a una alta densidad puede inferirse en forma indirecta a partir de un estudio de Breure (2006), en el que los valores de HCG de los padres pisífera fueron obtenidos a una densidad de 135 palmas por ha. Durante los primeros cinco años de producción, los valores (ajustados) de HCG para el rendimiento de racimos de los padres pisífera fueron 119 kg por palma para Calabar, comparados con 127 y 121 kg para Nigeria y Ekona. Con el incremento en la densidad de siembra desde 143 a 160 palmas por ha en Calabar, se esperaría un incremento anual de 5% y 10% en rendimiento con respecto a Nigeria y Ekona respectivamente plantados a 143 palmas por ha.

Es posible que la producción de palmas individuales del origen Calabar plantadas a la densidad de 160 palmas por ha decaiga un poco eventualmente en comparación con el estudio de Breure (2006). No obstante, esta caída en producción en palmas individuales será más que compensada por la población adicional de 25 palmas por ha. Esta conclusión recibe soporte debido al valor sub óptimo del IAF (5.01) estimado en el presente estudio para la fase 3, considerando que el valor óptimo para máximo rendimiento de este parámetro se encuentra entre 5.5 y 6.0.

A pesar de la mayor densidad, cuando el follaje cierra en la fase 2, el IAF de Calabar no excede el de los otros dos orígenes, lo cual implica una mejor penetración de luz, y por consiguiente, se favorece el crecimiento de la vegetación del piso y se reduce la erosión.

Habilidad combinatoria general

La relación inversa entre rendimiento de racimos y L_{max} encontrada en las palmas pisífera del origen Nigeria ofrece la posibilidad de seleccionar palmas que combinan un valor bajo de L_{max} con un alto potencial de rendimiento. Los materiales descendientes de tales pisíferas podrían ser plantados a mayores densidades y de esa forma incrementar el rendimiento por unidad de área. La clonación de esas pisíferas, permitiría la reproducción de estas características en gran escala.

La posibilidad de incrementar el rendimiento por unidad de área del tejido que intercepta la luz ha sido demostrada en las palmas compactas (Escobar y Alvarado 2003, Alvarado et al. 2006). Las palmas compactas de ASD y las fuentes de pisífera identificadas en este estudio, tales como Calabar, serán pronto

probadas en el nuevo jardín de PT Bakrie Sumatera Plantations en el norte de Sumatra. Para identificar las palmas pisífera con un alto valor de HCG para rendimiento por ha, los cruces de prueba por familia se plantarán a dos densidades: 135 y 160 palmas por ha.

Conclusiones

La producción comercial de racimos de fruta en plantaciones comerciales de palma aceitera empieza aproximadamente a los dos años y medio de edad de las palmas, que es bastante anterior al momento en que el follaje alcanza su máximo desarrollo; lo cual ocurre hasta que las palmas tienen aproximadamente diez años.

La densidad óptima de siembra para alcanzar el máximo rendimiento anual por unidad de área decrece durante el periodo de expansión del follaje. Dado que la vida económica de una plantación es de aproximadamente 25 años, se necesita un estimador confiable de la densidad óptima de siembra para cuando la plantación llegue al momento de madurez del follaje.

En un estudio anterior (Breure 1985) encontró que los valores de área foliar se ajustaban a una curva logística cuando se graficaban contra la edad de la palma en años. A partir de esta curva se pueden inferir tanto el área foliar máxima (L_{max}), como el tiempo para alcanzar 95% de este máximo ($t_{0.95}$). En este estudio se mostró que las progenies de palma aceitera descendientes de tres orígenes pisífera utilizados como padres (Nigeria, Ekona y Calabar) diferían marcadamente en la tasa de expansión foliar y en L_{max} . Además, se encontró que para cada origen, el área foliar promedio durante los primeros ocho años después de la siembra, parece ser un indicador poco confiable de L_{max} .

El valor de L_{max} es un parámetro más apropiado para estimar la densidad óptima de siembra que el método convencional basado en la medición del área foliar promedio; puesto que un estimador confiable del área foliar promedio durante la fase de madurez del follaje requiere medirla durante un periodo mayor.

Los valores de IAF fueron calculados a partir de los del área foliar obtenidos de la curva de crecimiento logístico de plantas para la densidad estándar de 143 palmas por ha. Considerando la asunción de que el rendimiento óptimo de racimos se obtiene con un IAF entre 5.5 y 6.0, se concluye que 143 palmas por ha es una densidad apropiada para los orígenes Ekona y Nigeria, pero para Calabar, esta densidad debería ser incrementada al menos a 160 palmas por ha.

Los valores de la habilidad combinatoria general (HCG) estimados para L_{max} para las palmas pisífera individuales de los tres orígenes no se relacionaron con los valores de HCG para el rendimiento de racimos de las mismas plantas. Esta relación fue aun negativa para las pisífera del origen Nigeria; lo cual abre la posibilidad para seleccionar palmas padre pisífera que combinen un valor alto de HCG para rendimiento con bajos valores para L_{max} , para obtener materiales de siembra que puedan plantarse a altas densidades.

Agradecimientos

Se agradece el permiso de PT. Selapan Jaya para publicar estos resultados y la asistencia

del personal de Bina Sawit Makmur para coleccionar y procesar la información. Se agradece tam-

bién a I. Bos, I.E. Henson y P.G.J. Keuss por sus acertados comentarios a la versión anterior

de la publicación y a L.R. Verdooren por su asistencia en los análisis estadísticos

Referencias

- C.J. Breure, The search for yield in oil palm: basic principles, in: T.H. Fairhurst, R. Härdter (Eds.), *The Oil Palm, Management for Large and Sustainable Yields*, Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Potash Institute (IPI), 2003, pp. 59-98.
- R.H.V. Corley, C.K. Hew, .K. Tam, K.K. Lo, Optimal spacing for oil palms, in: R.L. Wastie, D.A. Earp(Eds.), *Advances in oil palm cultivation*, Incorp. Soc. Planters, Kuala Lumpur, 1973, pp. 52-71.
- B.G. Smith, C.R. Donough, R.H.V. Corley, Relationship between oil palm clone phenotype and optimal density, in: D. Ariffin et al. (Eds.), *Proceedings of the 1996 PORIM Int. Palm Congr. Competitiveness for the 21st century*, Palm Oil Res. Inst. Malaysia, Kuala Lumpur, 1996, pp. 76-86
- R.H.V. Corley, C.J. Breure, Fruiting activity, growth and yield of oil palm. I. Effects of fruit removal. *Experimental Agriculture* 28 (1992) 99-109.
- C.J. Breure, Relevant factors associated with crown expansion in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.), *Euphytica* 34(1985) 161-175.
- H. Von Uexküll, I.E. Henson, T. Fairhurst, Canopy management to optimize yield, in: T.H. Fairhurst, R. Härdter (Eds.), *The Oil Palm, Management for Large and Sustainable Yields*, Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Potash Institute (IPI), 2003, pp. 163-180.
- C.J. Breure, The effect of palm age and planting density on the partitioning of assimilates in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.), *Experimental Agriculture* 24 (1988) 53-66.
- C.J. Breure, Performance of ASD's oil palm parent material in South Sumatra: the search for elite planting material for Indonesia. *ASD Oil Palm Papers* 29(2006), 19-30.
- H.D. Patterson, E.H. Williams, E.A. Hunter, Block designs for variety trials, *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 90(1978) 395-400.
- J.J. Hardon, C.N. Williams, I. Watson, Leaf area and yield in the oil palm in Malaysia, *Experimental Agriculture* 5 (1969) 25-32.
- C.J. Breure, L.R. Verdooren, Guidelines for testing and selecting parent palms in oil palm. Practical aspects and statistical methods, *ASD Oil Palm Papers* 9(1995) 1-68.
- W. Gerritsma, F.X. Soebagyo, Analysis of the growth of leaf area of oil palm in Indonesia, *Experimental Agriculture* 35(1999) 293 - 308.
- C.J. Breure, Factors affecting yield and growth of oil palm tenera in West New Britain, *Oléagineux* 37(1982) 213-227.
- G.R. Squire, Light interception, Productivity and yield of oil palm. Palm Oil Research Institute of Malaysia, Kuala Lumpur, 1984, pp.73
- R.H.V. Corley, P.B. Tinker, *The Oil Palm*, 4th ed., Blackwell Science Ltd., 2003.
- \M. Nazeeb, M.K. Tang, S.G. Loong, S.B. Syed, Variable density plantings for oil palms (*Elaeis guineensis*) in Peninsular Malaysia, in: *Proceedings of the PIPOC 2007 International Palm Oil Congress - Agriculture*, 2007, pp. 127-167.
- R. Escobar, A. Alvarado, Strategies in production of oil palm compact clones and seeds, in: *Proceedings of Agriculture Conference, PIPOC 2003, MPOB International Palm Oil Congress, 24-28 September 2003*, 2003, pp. 75-91.
- A. Alvarado, R. Escobar, F. Peralta, C. Chinchilla, Compact Seeds and Clones and their Potential for High Density Planting, in: *International Seminar on Yield Potential in the Oil Palm, The International Society for Oil Palm Breeders (ISOPB), Phuket, Thailand, 27-28 November 2006*, 2006, pp. 10.

Marchitez por *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f. sp. *elaedis*) en palma aceitera: ¿El caso de un patógeno débil?

C.M. Chinchilla

Introducción

La marchitez por *Fusarium* en palma aceitera (*Fusarium oxysporum* f. sp. *elaedis*) fue descrita inicialmente por Wardlaw en Zaire (Wardlaw 1946). Este patógeno ha sido asociado con pérdidas importantes de palmas en algunos huertos (15-25 %) en África central y del oeste. No obstante, la incidencia promedio en todo el continente africano bien puede estar por debajo de 1% (G. Blaak, anterior oficial de la FAO, comunicación personal); lo cual ocurre a pesar de un manejo agronómico normalmente ineficiente que caracteriza un alto porcentaje de las plantaciones de palma aceitera en África. En América, el patógeno ha sido encontrado en Para (Brasil) y Quinindé (Ecuador) (Tur-

ner 1970; Van de Lande 1985; Renard y Franqueville 1989; Franqueville y Renard 1990, Mariau et al. 1992; Franqueville y Diabaté 2004).

La situación en América es interesante, pues aparte de los informes iniciales sobre la presencia de la enfermedad en los dos lugares indicados, no se ha informado sobre un impacto económico importante de la misma, ni de su diseminación a nuevas áreas en forma agresiva. Normalmente se asume que el patógeno llegó a América en semilla de palma aceitera contaminada u otro tipo de material infestado (leguminosas) traído desde algún país africano (Franqueville y Diabaté 2004).

Síntomas

Existe una gran variación en la incidencia y la expresión de los síntomas dependiendo de la tolerancia del material afectado, la edad, las condiciones ambientales y el manejo agronómico de la plantación (Wardlaw 1950; Renard 1979; Renard y Franqueville 1989).

Cuando los síntomas son severos (agudos) en palmas adultas, éstas pueden morir en pocos meses: las hojas más viejas se secan y el raquis se quiebra a aproximadamente un tercio de la base, de manera que la hoja permanece colgando al lado del tallo. Las hojas más jóvenes toman una coloración amarilla y son más cortas que las de mayor edad.

Una característica distintiva de la enfermedad es la coloración oscura que toman algunos de los conductos vasculares, lo cual es más conspicuo hacia la base del tallo, en donde el color puede acentuarse en algunas áreas hacia

la periferia. El sistema radical aparece muy deteriorado, particularmente las raíces absorbentes más finas, que muestran un oscurecimiento interno.

El desarrollo de los síntomas puede también transformarse en una condición crónica, en donde la palma afectada no muere e incluso puede mostrar algunas señales de aparente recuperación después de algún tiempo. Esta respuesta es considerada a veces como tolerancia de la palma, pero también está asociada a condiciones ambientales cambiantes (disponibilidad de agua, física del suelo, nutrición de la planta etc.) que impiden al patógeno continuar con un avance agresivo de la infección. Algunas plantas que han mostrado los síntomas crónicos por mucho tiempo, tienden a tener un tronco cuyo diámetro disminuye con la edad.

* Consultor para ASD Costa Rica P.O. Box 30-1000, San José, Costa Rica. cmlchinchilla@gmail.com

***Opsiphanes cassina* Felder (Lepidoptera: Nymphalidae), defoliador de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacquin) en América Central**

Ramón G. Mexzón¹, Carlos Ml. Chinchilla²

Resumen

Las poblaciones del defoliador de la palma aceitera, *Opsiphanes cassina* Felder en Centro América, están normalmente bajo control por sus numerosos enemigos naturales. No obstante, se experimentaron explosiones importantes de la plaga en algunas localidades en el pasado. Esta revisión describe algunos detalles de tales explosiones y sobre la plaga (taxonomía, comportamiento, ciclo de vida, enemigos naturales y muestreo de las poblaciones), así como su potencial para causar daño y las herramientas disponibles para su manejo a través de un enfoque integral.

Palabras clave: *Opsiphanes cassina*, Nymphalidae, palma aceitera, plagas

Introducción

Las mariposas *ninfálicas* de la subfamilia Brassoliniinae son insectos robustos y de apariencia peluda; de colores vistosos y fáciles de reconocer, porque tienen unas manchas u ocelos conspicuos debajo de las alas, los cuales poseen una pigmentación alterna de claros y oscuros.

El grupo se compone de 12 géneros, nueve de los cuales se distribuyen desde México hasta Sudamérica. Las larvas se alimentan de plantas monocotiledóneas, particularmente *arecáceas*, *musáceas*, *heliconiáceas*, *poáceas* y *bromeliáceas*. En todos los géneros, excepto *Brassolis*, las larvas tienen cuernos o tubérculos en la cabeza.

El género *Opsiphanes* se compone de 13 especies, seis de las cuales están en Costa Rica. Las mariposas adultas tienen el margen de las alas anteriores ligeramente excavado, el lado superior de las alas con una banda media prominente y las alas anteriores iguales o más grandes que las alas posteriores.

Opsiphanes cassina ha sido la especie plaga más frecuente en las plantaciones de palma aceitera en América Central, pero no existen registros confiables de la mayoría de estas defoliaciones, ni del daño económico causado. La primera defoliación documentada ocurrió en aproximadamente 150 ha en 1972 en una plantación adulta cerca de la localidad de Tela en la costa Atlántica de Honduras (Atlántida). Luego en 1977 ocurrió una nueva defoliación en las mismas áreas, pero el daño se extendió a casi 250 ha y se contabilizaron hasta 380 larvas /hoja. El foco en mención creció a más de 1000 ha en 1979 y se estimaron pérdidas entre 30 y 60% en rendimiento de fruta en los años siguientes (Richardson 1981). Otros incrementos poblacionales importantes ocurrieron en plantaciones localizadas en el valle del río Aguán.

En Costa Rica, la plaga causó importantes defoliaciones en plantaciones localizadas en el Pacífico central (Quepos) en 1982 y en el Pacífico sur (Coto) en 1984. En la localidad de

¹ Museo de Insectos, Escuela de Agronomía, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. gmexzon@gmail.com

² Consultor para ASD Costa Rica P.O. Box 30-1000, San José, Costa Rica. cmlchinchilla@gmail.com

Coto aproximadamente 260 ha fueron afectadas y se contaron entre 150 y 600 larvas en hojas en la posición 17 en la filotaxia. Aparte de las defoliaciones referidas, también ocurrieron incrementos poblacionales más o menos moderados en Panamá (Chiriquí), Nicaragua y

Guatemala, particularmente durante la época de lluvias.

Debido a la importancia histórica de esta plaga en las plantaciones de palma aceitera de Centroamérica, se hace un resumen de varios aspectos de su biología y las alternativas de manejo disponibles.

Biología y Comportamiento

Adulto. Es una mariposa con una longitud corporal de cerca de 28 mm y una envergadura alar de 60 a 65 mm en el macho y de 70 a 75 mm en la hembra. Los individuos son de color café marrón con bandas transversales anaranjadas sobre las alas anteriores con forma de una letra Y. En el lado ventral de las alas presentan manchas circulares; una en el ala anterior de color negro con un halo amarillo y dos en el ala posterior; una parda con un halo negro y una blanca con dos anillos, uno de color negro y el otro de color pardo claro.

Existe un dimorfismo sexual marcado: los machos presentan penachos andraconiales de color blanco sobre las alas posteriores y unas aberturas glandulares, de color amarillo en los costados del abdomen. El período de vida adulta es de 7 a 10 días (Cuadro 1).

Huevo. Globoso, reticulado, de color crema y luego muestra bandas de color rojizo o rosado

que corresponden al desarrollo del embrión. La hembra deposita los huevos en la parte abaxial de los folíolos, con preferencia en la base de éstos, en forma individual o en pequeños grupos. La eclosión ocurre en 8 días (5 a 10 días).

Larva. Al emerger mide cerca de 7 mm de longitud y al finalizar la etapa mide aproximadamente 80 mm. Durante los dos primeros estadios de desarrollo son de color rosado, con cinco franjas longitudinales de color amarillo muy intenso; la cápsula cefálica es hirsuta, de color negro así como también los apéndices caudales. Con la edad, la larva toma una coloración verde, con franjas amarillas, un par en las pleuras y una en el dorso que continúa sobre la cápsula cefálica. La cabeza porta 3-4 pares de apéndices, es de color pardo claro, al igual que los apéndices caudales. La etapa consta de cinco estadios de desarrollo que se completan en 42 días (33 a 62 días).

Pupa. Es de tipo obtecta, al inicio es de color verde claro con dos puntos color oro, que se camufla con las plantas epífitas que crecen en los tallos de las palmas; luego se torna de color café claro. La etapa toma entre 10 y 15 días.

Cuadro 1. Ciclo de vida de *Opsiphanes cassina* en condiciones de laboratorio ($29.0 \pm 2^\circ\text{C}$; $87 \pm 5\%$ H.R.)

| Estado de desarrollo | Duración (días) | | Longitud (mm)* | |
|----------------------|-----------------|--------------------|----------------|---------|
| | Promedio | Ámbito | Promedio | Ámbito |
| Huevo | 8.0 | 5 - 10 | 2.0 | 2 - 3 |
| Estado larval | 41.2 | 33.5 - 61.8 | | |
| I | 7.5 | 6.0 - 11.0 | 7.5 ± 0.5 | 7 - 9 |
| II | 6.0 | 4.5 - 10.5 | 28.9 ± 2.9 | 23 - 30 |
| III | 6.0 | 5.5 - 10.5 | 39.4 ± 3.3 | 33 - 42 |
| IV | 8.2 | 5.5 - 11.5 | 49.0 ± 5.3 | 40 - 60 |
| V | 13.5 | 12.0 - 18.3 | 69.3 ± 8.1 | 53 - 80 |
| Prepupa | 1.0 | 0.5 - 1.6 | | |
| Pupa | 12.0 | 10.0 - 15.0 | | |
| Adulto | 7.0 | 7.0 - 10.0 | 28.0 ± 1.0 | 26 - 31 |
| Total | 69.2 | 57.1 - 98.4 | | |

* Promedio de 60 mediciones.

Comportamiento

Las larvas se alimentan del follaje y los adultos de jugos en frutos maduros, de donde obtienen carbohidratos y también proteínas de las levaduras que se desarrollan en estos substratos. Esos nutrientes son necesarios como combustible de los músculos para el vuelo y para alcanzar la madurez sexual.

Los adultos muestran dos períodos de actividad; uno en las primeras horas de la mañana (6.00-8.00 horas) y otro principal en la tarde (15.30 a 17.30 horas). La cópula y la oviposición ocurren durante la tarde; las hembras ovipositan al segundo día de emergidas y nacen con la dotación de huevos completa.

Loría et al. (2000) estudiaron la dinámica poblacional del insecto en el Pacífico sur de Costa Rica y encontraron que el período de emergencia de los adultos toma entre dos y tres meses. Se dan varios períodos de emergencia consecutivos de cerca de un mes de duración cada uno; al inicio (10 a 15 días) predominan los machos, pero luego aparecen las hembras y la proporción de sexos es cercana a 1:1.

Los incrementos poblacionales parecen construirse a partir de individuos solitarios que proceden de áreas vecinas de montaña y que se agregan para reproducirse. Al inicio las poblaciones son más frecuentes en las orillas de los caminos y otras áreas abiertas (canales), donde se forman túneles de viento y posible-

mente hay una mejor dispersión de la feromona de agregación. Aquí se da la mayor oviposición y se observan los primeros síntomas de daño, por lo cual estas áreas se deben mantener vigiladas.

Las larvas son gregarias hasta el cuarto estadio de desarrollo y luego son solitarias. Al inicio comen pequeñas porciones y hacen trazos irregulares en los bordes de los folíolos. En el cuarto estadio la larva se ubica en un folíolo y come moviendo la cabeza de adelante hacia atrás, lo cual produce un trazo oblicuo a un lado de la vena central del folíolo. Posteriormente, la larva cambia de posición para iniciar un trazo de igual forma en el lado opuesto de la vena. El resultado es un trazo con forma de punta de flecha fácil de reconocer.

La larva se mantiene activa durante el día y se alimenta teniendo períodos de reposo, pero es menos activa en las horas más calurosas del día. Su presencia se advierte con facilidad por las excretas que caen al suelo y que con densidades altas de población se escucha como si fuera una lluvia leve. Antes y después de cada cambio del tegumento, las larvas dejan de alimentarse durante unas 24 horas y al finalizar la etapa de desarrollo descienden de las hojas al tallo y se ocultan entre las plantas epífitas, que crecen en el mismo, para pupar.

Daños

La larva es muy voraz y puede llegar a consumir hasta tres folíolos durante su vida. En los primeros cuatro estadios de desarrollo la larva consume poco follaje, pero en el quinto estadio consume 76% (432 cm²) del total necesario para completar su desarrollo (Cuadro 2).

De acuerdo con Wood et al. (1973) la palma adulta puede tolerar niveles de defoliación de hasta 6.25% en la parte superior y 17% en la parte inferior del follaje. Teniendo en consideración esto, se cuenta con un margen de tiempo para tomar alguna decisión de combate. En

este intervalo de tiempo se puede hacer un diagnóstico de las poblaciones de enemigos naturales y dependiendo del resultado, se podría esperar un poco más de tiempo o por lo contrario, iniciar las medidas de combate de inmediato.

Para conocer la cantidad de follaje que las larvas pueden consumir en una situación de alta población, se cuenta el número de larvas de cada estado de desarrollo en la hoja N° 17 y se multiplica por el consumo promedio por estado. Estos datos se suman y se puede tener

una idea sobre si la cantidad de larvas en la hoja podría superar la tasa de producción diaria estimada de follaje por día (6.250 cm^2), la cual teóricamente sería tolerable perder, al menos por algún tiempo.

Normalmente se acepta que si el daño excede la capacidad de renovación foliar diaria de la planta es necesario tomar una decisión de combate. Este nivel de daño no debe exceder 20% (aproximadamente 1.160 cm^2 del promedio de producción diario de follaje). No obstante, esta decisión varía de acuerdo con la edad de las palmas, la ocurrencia de defoliaciones previas, la abundancia de enemigos naturales, las condiciones climáticas, el estado nutricional de la palma y otros criterios. En el Cuadro 2 se muestran los cálculos para estimar el

número de larvas necesario para causar diferentes niveles de daño para el primer estado larval.

En el Cuadro 3 se muestran los resultados del cálculo del número de larvas de todos los estados necesarios para causar distintos niveles de daño en una plantación de palma aceitera.

Cuadro 2. Estimados de la defoliación diaria permitida por hoja (teórico)

| Defoliación diaria por hoja (%) | $\text{Cm}^2/\text{hoja}/\text{día}$ de defoliación | Número de larvas necesarias del primer estadio para causar un porcentaje dado de defoliación |
|---------------------------------|--|---|
| Cero | $\frac{6.250 \text{ cm}^2 / \text{ día}}{40 \text{ hojas}} = 156.25$ | $\frac{156.25 \text{ cm}^2 / \text{ hoja} / \text{ día}}{0.23 \text{ cm}^2 / \text{ día}} = 679$ |
| 5% | $\frac{6.250 \text{ cm}^2 / \text{ día} \times 5}{100} = 312.5$ | $\frac{312.5 \text{ cm}^2 / \text{ hoja} / \text{ día}}{0.23 \text{ cm}^2 / \text{ día}} = 1.359$ |
| 20% | $\frac{6.250 \text{ cm}^2 / \text{ día} \times 20}{100} = 1.250$ | $\frac{1.250 \text{ cm}^2 / \text{ hoja} / \text{ día}}{0.23 \text{ cm}^2 / \text{ día}} = 5.435$ |

* Se asume que una palma adulta tiene 40 hojas. Los cálculos pueden hacerse para cada estadio larval y la correspondiente defoliación diaria que podrían causar.

Cuadro 3. Número de larvas de *O. cassina*/hoja permitidas sin que teóricamente causen daño económico en una plantación de palma aceitera

| Larva | Area foliar consumida (cm^2) | | | Nº teórico de larvas necesario para causar una defoliación estimada de: | | | |
|-------|---|-------------------------|--------|---|-------|-------|--------|
| | Diaria | Total del estado larval | % | 0% | 5% | 20% | 50% |
| I | 0.23 | 1.72 | 0.40 | 679 | 1.359 | 5.435 | 13.587 |
| II | 0.96 | 5.76 | 1.33 | 163 | 325 | 1.302 | 3.255 |
| III | 2.18 | 13.08 | 3.02 | 72 | 143 | 573 | 1.433 |
| IV | 10.10 | 82.82 | 19.20 | 15 | 31 | 124 | 309 |
| V | 24.35 | 328.72 | 76.05 | 6 | 13 | 51 | 128 |
| Total | | 432.1 | 100.00 | | | | |

No se incluye en los cálculos el hecho de que antes y después de mudar el tegumento las larvas no se alimentan durante un día

Muestreo

Un sistema eficiente de muestreo realizado con la frecuencia adecuada permite la identificación temprana de un brote importante de alguna plaga, de manera que el foco de la infestación puede controlarse a un costo reducido y con un mínimo de daño a la plantación y a las poblaciones de enemigos naturales. El entrenamiento del personal agrícola (por ejemplo, los inspectores de calidad de la cosecha y aún los mismos cortadores de fruta) es deseable, para que puedan informar si observan un número inusual de larvas en las hojas que cortan durante la cosecha.

Genty (1985) menciona que en algunas plantaciones de palma aceitera en Colombia se realiza una revisión de las plantaciones en ciclos de dos semanas. Durante la primera semana se revisan las secciones en forma alterna y en la siguiente, las secciones restantes. Esta intensidad de muestreo en toda la plantación podría ser necesaria en una condición de plaga inminente, pero esto no ocurre en la mayoría de las plantaciones, por lo cual las revisiones no son usualmente tan frecuentes.

Si una plantación se maneja de manera agroecológica, es decir, con una fertilización adecuada (oportuna, suficiente y equilibrada), buenas condiciones de aeración del suelo y un manejo cultural de la vegetación nectarífera (como un control selectivo de malezas para que hayan sitios de refugio y de alimentación para los enemigos naturales), normalmente, no experimentará incrementos poblacionales de insectos plaga en gran escala, ya que éstos tenderán a ser regulados en forma natural.

Rhainds et al. (1993) señalan que en situaciones apremiantes de plaga, el muestreo de 80 folíolos distales de la hoja 17 (40 a cada lado del raquis) es confiable ($R^2 = 0.800$) y economiza

tiempo. Los autores también mencionan que una mayoría de las larvas (7.85 ± 0.71) se ubicaron en el plano inferior de la hoja, en comparación con las situadas en el plano superior (1.60 ± 0.42), posiblemente debido a una estrategia para impedir la depredación o la desecación. Se consideró que el nivel crítico era de 7-10 larvas grandes en la hoja N° 25 en 2-4 palmas por ha; sin embargo, la hoja N° 17 podría dar una mejor evidencia del potencial del daño (Rhainds et al. 1993).

Si se detectan poblaciones consideradas inusualmente altas, se deben hacer observaciones sobre la evolución de las siguientes generaciones de la plaga y de sus enemigos naturales (moscas y avispas parasitoides principalmente) en huevos, larvas y pupas; larvas enfermas con organismos entomopatógenos, actividad de chinches depredadores (hemípteros), de pájaros, lagartijas, etc. Para ello, se deben coleccionar y llevar al laboratorio muestras de los estados parasitados para la recuperación de los parásitos y observar los síntomas causados por entomopatógenos. La abundancia relativa de chinches depredadores se puede determinar mediante el recuento de individuos en las hojas de mayor edad de palmas localizadas en cuadrículas comprendidas por el perímetro de cuatro palmas adyacentes, donde se cuentan en los tallos (hasta una altura de 2 m) y en la vegetación. Una regulación combinada de 60% en huevos-pupas se considera satisfactoria.

El muestreo no es una práctica que se realiza sólo en las situaciones de plaga pensando en obtener un número de larvas por hoja para determinar el momento oportuno para aplicar un plaguicida, sino que debe ser una práctica de rutina que permita observar la evolución de las poblaciones de insectos plaga y de sus enemigos naturales.

Enemigos Naturales

Durante los incrementos poblacionales de *O. cassina* ocurridos en 1990 en el Pacífico Cen-

tral (Parrita y Quepos) de Costa Rica y en Atlántico de Honduras (Atlántida), se observó

también un aumento en las poblacionales de chinches Pentatomidae depredadores como *Alcaeorrhynchus grandis* Dallas, *Mormidea* sp., *Podisus* spp. y *Proxys punctulatus* (Duvois de Palisoth). Estos chinches eran comunes en la vegetación, en especial en la leguminosa de cobertura kudzú (*Pueraria phaseoloides* Bentham), donde depredan larvas de varias familias de mariposas, en especial *Anticarsia gemmatalis* Hubner (Noctuidae) y *Estigmene acrea* Drury (Arctiidae).

Las poblaciones de chinches normalmente son dispersas y difíciles de localizar, pero durante los incrementos de defoliadores las poblaciones se agregan en varias miles de individuos por hectárea. Estos chinches son depredadores generalistas y durante las explosiones de alguna plaga, junto con depredadores vertebrados como pájaros (en especial *Quiscalus mexicanus* y *Psaracolices monctezuma*, Icteriidae), son los enemigos naturales más deseables porque consumen gran cantidad de presas por unidad de tiempo.

Varias especies de avispa son parasitoides de importancia: El género *Telenomus* (Scelionidae), y en menor medida *Ooencyrtus* (Encyrtidae) atacan huevos. Los géneros *Cotesia* (Bra-

conidae) y *Horismenus* (Eulophidae) atacan larvas; el género *Conura* (Chalcididae) y varias moscas de la familia Tachinidae son parasitoides de larvas y pupas y *Brachymeria* (Chalcididae) ataca pupas. Todos estos parasitoides ayudan a mantener la población de la plaga bajo control la mayoría del tiempo. Asimismo, *Horismenus* y *Brachymeria* pueden en algunas oportunidades ser hiperparasitoides de *Cotesia* sp. y *Conura* spp., respectivamente (Cuadro 4).

Durante los incrementos de plagas las poblaciones de los parasitoides también aumentan considerablemente; sin embargo, la disponibilidad de alimento como combustible para volar, en la forma de secreciones de glándulas de plantas, son un factor limitante para que sus poblaciones permanezcan altas y puedan dispersarse al interior de las plantaciones. Esto es palpable especialmente en el caso de *Cotesia* sp. y *Conura* spp., que vuelan cortas distancias; aunque no así para las moscas Tachinidae, que vuelan mayores distancias.

También se presentan enfermedades causadas por *entomopatógenos* como hongos y virus cuando hay altas densidades de población de *O. cassina*. Los hongos son generalistas y permanecen en el medio infectando poblaciones

Cuadro 4. Factores biológicos de regulación de las poblaciones de *Opsiphanes cassina* en América Central

| Estado de desarrollo | Duración días | Factor de regulación por etapa de desarrollo |
|----------------------|---------------|--|
| Huevo | 5 - 10 | <i>Ooencyrtus</i> sp.: emergen 1-4 avispa/huevo y en <i>Telenomus</i> sp.: de 6-11 avispa/huevo |
| Larva | 36 - 47 | <i>Conura</i> sp. (L-P) emergen 12-16 avispa/huevo <i>Cotesia</i> sp. (L-L) emergen varias decenas de avispa/huevo <i>Horismenus</i> sp. (L-L) emergen varias decenas de avispa/huevo. Actúa como hiperparasitoide de <i>Cotesia</i> sp. Tachinidae n. I. (L-P) emergen 4-8 moscas/pupa Chinches, <i>Alcaeorrhynchus grandis</i> , <i>Mormidea</i> sp., <i>Podisus</i> sp. Hongo, <i>Paecilomyces</i> sp. Virus de poliedrosis nuclear Pájaros, <i>Quiscalus mexicanus</i> , <i>Psaracolices Monctezuma</i> |
| Pupa | 10 - 15 | <i>Brachymeria</i> sp: emerge una avispa/pupa. Actúa como hiperparasitoide de <i>Conura</i> spp. Chinches depredadores |
| Adulto | 7 - 10 | Pájaros |
| Duración | 58 - 82 | |

Tomado de Mexzón y Chinchilla (1996).
L-L = parasitoide cumple su desarrollo embrionario en la larva huésped;
L- P = parasitoide parasita la larva y emerge como un adulto de la pupa huésped.

de insectos en la vegetación; en el caso de los hongos y virus, se ha encontrado a *Paecilomyces* sp. y a una especie de virus de poliedrosis nuclear infectando las larvas.

Los virus son muy específicos y pueden ser usados como biocidas. Varios autores (Genty y

Mariau 1975; Luchini et al. 1984; Orellana 1986; Sipayung et al. 1989) mencionan el uso de soluciones virales preparadas con las larvas enfermas. La aplicación de la solución viral con dosis subletales de piretroides como Deltametrina (DECIS 2.5.% E.C., 30 cc/ha) acelera la dispersión de la enfermedad en la población del insecto.

Plantas Nectaríferas

La existencia de fuentes alimentarias restringidas a plantas nectaríferas creciendo en las orillas de caminos y las áreas de palma joven, limita la disponibilidad de alimento en las áreas internas de palmares adultos para los insectos depredadores y las avispas parasitoides. Las avispas que funcionan como enemigos naturales de *O. cassina* han sido asociadas

durante varios años a la vegetación nectarífera. En el Pacífico sur de Costa Rica (Coto) poblaciones altas de avispas parasitoides se encontraron en una gran variedad de plantas nectaríferas y algunas de ellas muestran un gran potencial para ser usadas en un programa de manejo de la vegetación (Cuadro 5).

Cuadro 5. Abundancia relativa de las familias de insectos parasitoides de *Opsiphanes cassina* en Costa Rica *

| Especie vegetal | Tachinidae | Braconidae | Chalcididae | Eulophidae | Encyrtidae | Scelionidae |
|--------------------------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|
| <i>Ageratum conyzoides</i> | VF | A | A | VF | VF | - |
| <i>Amarantus spinosus</i> | A | C | A | C | VF | VF |
| <i>Baltimora recta</i> | VF | C | A | C | VF | VF |
| <i>Byttneria aculeata</i> | - | C | A | F | F | F |
| <i>Cassia guatemalensis</i> | - | F | C | - | - | - |
| <i>Cassia reticulata</i> | - | C | C | C | VF | F |
| <i>Cassia tora</i> | VF | C | A | VF | VF | VF |
| <i>Chamaesyce hirta</i> | A | F | A | F | - | - |
| <i>Melanthera aspera</i> ** | - | C | C | C | C | F |
| <i>Priva aspera</i> | - | C | F | VF | - | - |
| <i>Scleria melaleuca</i> ** | VF | C | A | C | VF | VF |
| <i>Senna stenocarpoides</i> ** | - | C | A | C | F | F |
| <i>Solanum jamaicense</i> | F | C | A | F | F | VF |
| <i>Spermacoce laevis</i> | VF | F | C | F | VF | VF |
| <i>Triunfetta semitriloba</i> | - | C | A | F | - | F |
| <i>Urena lobata</i> ** | A | F | A | F | - | - |
| <i>Vitis sycioides</i> | A | C | A | F | C | C |

Tachinidae: especie no identificada (parasitoides de larvas); Braconidae: *Cotesia* sp. (parasitoide de larvas); Chalcididae: *Comura* spp. (parasitoide de larvas); Eulophidae: *Horismenus* sp. (parasitoide de larvas); Encyrtidae: *Ooencyrtus* sp. (parasitoide de huevos); Scelionidae: *Telenomus* sp. (parasitoide de huevos).

Abundancia relativa: E = Escasos (1-9 individuos por 10 plantas de la misma especie); P = Pocos (1-4 individuos por planta); C = Comunes (5-15 individuos por planta); A = Abundantes (más de 15 individuos por planta).

* Derivado de datos de Mexzón (1997).

** Especies vegetales que se recomiendan para una siembra dirigida y racional dentro de plantaciones de palmas adultas en sitios vacantes y orillas de canales de drenaje primarios.

Por ejemplo, *Cotesia* sp. se alimenta en *Ageratum conyzoides* L., *Baltimora recta* L (Asteraceae), *Amaranthus spinosus* L. (Amarantaceae), *Byttneria aculeata* Jacquin (Sterculiaceae), *Cassia tora* L. (Leguminosae), y *Vitis sycioides* L. (Vitaceae); *Horismenus* sp. en *B. aculeata*, *Cassia reticulata* Willdenow (Leguminosae), *C. tora*, *Melanthera aspera* L. (Asteraceae), *Scleria melaleuca* Schlechtendal y Cham (Cyperaceae) y *V. sycioides*; y *Conura* spp. en *A. spinosus*, *B. aculeata*, *C. tora*, *M. aspera*, *S. melaleuca*, *Solanum jamaicense* Miller (Solanaceae), *Urena lobata* L. (Malvaceae) y *V. sycioides*.

El manejo de la vegetación es un elemento de importancia dentro de un esquema de

manejo integrado de *O. cassina*; de manera que se pueda proveer en forma paulatina sitios de refugio, vías de tránsito y fuentes de alimentación, para poblaciones crecientes de enemigos naturales insectiles y prevenir la ocurrencia de explosiones de insectos plaga. Estas poblaciones se ven limitadas por la escasez de fuentes de carbohidratos (secreciones de nectarios y, en menor medida, ligamaza de algunos hemípteros) para alcanzar a sus presas/huéspedes ubicadas a varios centenares de metros en el interior de las plantaciones. De esta manera, la siembra de esas especies de plantas aporta corredores biológicos que permiten el movimiento de los enemigos naturales en la plantación.

Combate Químico

Los insecticidas biológicos como Dipel (*Bacillus thuringiensis*) se han utilizado con éxito con el objeto de causar un trastorno mínimo en las poblaciones de organismos benéficos y de los polinizadores de la palma aceitera. Otros productos como toxinas biológicas (EVI-SECT, PADAN, otros) e inhibidores de síntesis de quitina (triflumuron, diflubenzuron y otros) podrían ser de mucha utilidad en el com-

bate, si se aplican en momentos apropiados del ciclo de vida de estos lepidópteros y de algunos de sus enemigos naturales. Los insecticidas de contacto como algunos organofosforados, organoclorados y los piretroides son de uso restringido y sólo deberían usarse en aplicaciones muy puntuales para eliminar focos de infestación (Cuadro 6).

Manejo Integrado

Un programa de manejo integrado de los insectos defoliadores como *O. cassina* debe basarse en un muestreo sistemático de los diferentes estados de desarrollo del insecto. El muestreo viene a ser la columna vertebral del programa y es fundamental porque permite ver con claridad lo que está ocurriendo en la plantación.

Este muestreo debe ser ejecutado por personal entrenado (plagueros); sin embargo, también es una buena idea involucrar a los trabajadores que recorren diariamente las plantaciones, para que den una voz de alerta cuando observan un número inusual de larvas en el follaje de las palmas. Esto es particularmente cierto en el caso de los inspectores de calidad de la cosecha y los cosechadores mismos que pueden rápidamente observar las hojas que

cortan y notar si el número de larvas parece anormalmente alto. El aviso oportuno permite el desplazamiento del personal de control fitosanitario, los cuales determinarán mediante el muestreo si existe el peligro de un incremento poblacional de un insecto plaga.

Una vez que se ha determinado que existe un incremento poblacional importante, se debe verificar el estado de las poblaciones de enemigos naturales para saber si éstos pueden disminuir la población del insecto plaga, o si por lo contrario se hace necesario recurrir al combate químico. Desde el momento en que se declara una condición de plaga, las diferentes medidas de combate se aplican considerando los momentos vulnerables del ciclo de vida del insecto, utilizando las medidas que son más adecuadas en cada uno de ellos. El programa

de manejo integrado debe considerar los elementos que se citan a continuación:

1. El muestreo de *O. cassina* y de los enemigos naturales

- Se muestrean huevos, para determinar el porcentaje de parasitismo por avispas. Los huevos sanos son blancos o transparentes con dos líneas internas transversales de color rosado, que corresponde al embrión de la larva de la mariposa, mientras que los parasitados son negros o anaranjados (dependiendo si contienen avispas *Telenomus* sp o *Ooencyrtus* sp.).
- Se determina el número de larvas por hoja (indicando los estados de desarrollo larval). En condición de plaga se puede usar la hoja 17, en donde se cuentan las larvas en los últimos 80 folíolos del extremo de la misma.
- Recuento de chinches hemípteros depredadores (formas inmaduras y adultos) en la hoja 17 de cuatro palmas/ha, y en la vegetación de cuatro cuadrículas/ha, formadas por cuatro palmas contiguas.
- Recolección de larvas y pupas parasitadas y su traslado al laboratorio para obtener un estimado del parasitismo. Las larvas parasitadas pueden presentar un paquete de pequeños estuches blancos debajo del cuerpo, correspondiente a las pupas de *Cotesia* sp o *Horismenus* sp, y las pupas se muestran oscuras y malolientes. En el caso de *Horismenus* sp. se debe tener presente que puede presentarse como un parasitoide primario o como un hiperparasitoide de *Cotesia* sp.

2. Acciones o medidas inmediatas

- Demarcación de los focos de infestación.
- Uso de una hoja de campo apropiada para la recolección de la información necesaria, entre la cual se deben incluir los enemigos naturales más comúnmente encontrados.
- Procesamiento rápido de los datos de campo para usarlos como apoyo en las medidas de combate.

3. Combate cultural

- Manejo de las condiciones físicas de los suelos, en especial solucionar problemas de aeración limitada (hacer y mantener un sistema de drenaje, evitar la compactación etc.).
- Manejo del equilibrio nutricional de las plantas. Corregir desequilibrios que puedan estar relacionados con el incremento poblacional (particularmente altas relaciones entre el nitrógeno y el potasio)
- Cuando sea posible, recoger y eliminar las pupas.
- Manejo de la vegetación nectarífera para incrementar las poblaciones de depredadores y parasitoides (Ejemplo: siembra de especies vegetales atractivas como *Urena lobata*, *Scleria melaleuca*, *Senna stenocarpoides*, *Melanthera aspera* y otras, en áreas vacantes y orillas de canales de drenaje). Conservación de sitios de refugio para enemigos naturales: control mecánico de malezas en franjas alternas en sustitución del control generalizado.

Cuadro 6. Algunos insecticidas que podrían ser usados en un programa de rotación para el combate de insectos defoliadores *

| Grupo | Nombre genérico | Nombre comercial | Dosis/ha |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|----------------|
| Toxina biológica | Cartap | Padan *** | 0.5 - 1.0 kg |
| Insecticida biológico | <i>Bacillus thuringiensis</i> | Dipel | 0.8 - 2.5 l |
| Inhibidores de síntesis de quitina | Triflumuron | Alsystin**** | 0.075 - 0.1 kg |
| | Teflubenzuron | Dart*** | 0.075 - 0.1 kg |
| Piretroides | Diflubenzuron | Dimilin *** | 0.075 - 0.1 kg |
| | Esfenvalerato | Asana **** | 0.025 - 0.03 l |
| | Cypermethrina | Capture **** | 0.025 - 0.03 l |
| | Deltametrina | Decis **** | 0.025 - 0.03 l |

Tomado en parte de Monge (1985).

* Esta lista de productos no constituye una recomendación por parte de los autores.

** Sólo pueden usarse en aplicaciones puntuales (áreas menores a 20 ha) cuando las poblaciones de enemigos naturales sean muy bajas. Su uso es muy restringido.

*** Estos productos conviene evaluarlos combinados con dosis subletales de piretroides.

**** Sólo pueden usarse en dosis subletales (0.025-0.03 l/ha).

- e. Detener el control de malezas en períodos del año cuando incrementan las poblaciones de insectos plaga.
- f. Entrenamiento del personal de campo en identificación de las malezas.

4. Combate biológico

- a. Reproducción y liberación de chinches depredadores
- b. Reproducción y liberación de avispas parasitoides

5. Combate etológico

- a. Colocación de trampas con un atrayente alimentario para los adultos, como se indica en Loría et al. (2000) tan pronto se observen las primeras mariposas al inicio de la estación lluviosa. No obstante, es una buena idea mantener una baja densidad de trampas permanente en la plantación para darle seguimiento a la emergencia de los adultos. La mejor trampa es una bolsa plástica colapsada que contiene caña de azúcar en el

fondo y una botella plástica con orificios para permitir la liberación de los olores de una mezcla de levadura y melaza

- b. Enriquecer el ambiente con otras especies de mariposas asociadas a la vegetación acompañante del cultivo, para mantener una población saludable de chinches depredadores. Esto se puede hacer con combinaciones de *M. aspera*, *Lantana camara* L. y *Stachytarpheta jamaicensis* Miller (Verbenaceae)

6. Combate químico

- a. Aplicaciones puntuales de insecticidas sobre los focos de infestación.
- b. Rotación de plaguicidas (B.t., piretroides, nereis-toxina, inhibidores de quitina, otros).
- c. Aplicaciones repetidas en momentos críticos del ciclo de vida del insecto para quebrar la población.

Los síntomas en palmas jóvenes pueden ser un poco diferentes. Inicialmente, una hoja particular en la parte media del follaje toma una coloración amarillo-limón y en poco tiempo otras hojas en la vecindad también son afectadas. Las hojas más viejas, eventualmente también son afectadas y muestran un color amarillo que se torna café oscuro a partir de la punta de los folíolos. Este tipo de síntomas es normalmente más conspicuo hacia el final de la estación de lluvias. Debido a la distribución de los haces vasculares en el tronco, normalmente solo unas hojas de un lado de la planta pueden mostrar los síntomas (Warlaw 1950)(Fig. 1).

Cuando el tallo es cortado en forma transversal, las fibras vasculares en algunas secciones aparecen descoloridas: primero naranja, luego café-rojizas y finalmente negras (Fig. 2). El peciolo de las hojas afectadas también muestra decoloración de su sistema vascular. Las palmas así afectadas pueden morir o entrar en una fase crónica de la enfermedad, en donde la infección permanece latente en el tejido, y la hojas nuevas producidas son más cortas y el crecimiento general de la palma es lento.

La infección puede ocurrir en palmas de vivero, lo cual causa un desarrollo retardado, hojas cortas y deformadas (apariencia aplana de la corona) y un bulbo inchado (Fig. 3). Las raíces formadas son pocas, particularmente el sistema fino y se distingue una infección que progresa hacia el bulbo, en donde los haces vasculares muestran un color naranja que cambia a casi negro (Prendergast 1957, 1973; Locke y Colhoun 1974; Aderumgboye 1980, Chinchilla, 1986).

Los síntomas internos y externos son aparentemente causados por un bloqueo de los haces vasculares (tilosas, depósitos de goma, micelio y otras estructuras fungosas como micro conidios y clamidosporas) que interrumpen el flujo de líquidos por el xilema. (Aderumgboye 1982; Kobachich 1984).

Epidemiología o cuán efectivo es el patógeno?

F. oxysporum f. sp. *elaeidis* puede sobrevivir en el suelo aparentemente como un saprófito,

o bien en contacto con las raíces de varias malezas. Cualquier factor que cause la muerte (¿O debilitamiento de las raíces?) podría ofrecer la oportunidad para la entrada del hongo a la palma y dar inicio a la infección (Aderumgboye 1982; Lockey y Colhoun 1974). La penetración en las raíces puede también ocurrir a través de los *pneumatodes*, los cuales son más numerosos cuando el suelo está húmedo (¿Tal vez demasiado húmedo?); lo cual explicaría un aumento en la incidencia hacia el final de la estación de lluvias cuando el suelo tiende a estar saturado de humedad. Este es también el periodo cuando puede ocurrir la muerte de muchas raíces por falta de una adecuada aereación en el suelo. Por otro lado, otro pico de incidencia al comienzo de la estación de lluvias, puede ser explicado por la muerte de raíces que ocurrió durante la última parte de la época seca, particularmente si ésta fue muy larga.

Se han encontrado razas patogénicas del hongo en sitios donde no se había sembrado palma aceitera previamente (Aderumgboye 1982). Por otro lado, Hoo y Varghese (1987) compararon varios aislamientos de *F. oxysporum* nativos de Malasia con razas virulentas de *F. oxysporum* f.sp. *elaeidis* obtenidas de Malasia y encontraron que el crecimiento en medio de cultivo, morfología, conidiogénesis y el efecto de la temperatura y humedad relativa sobre el crecimiento fueron idénticas en los dos orígenes. De mayor relevancia fue el hecho que algunas razas de *Fusarium oxysporum*, consideradas no patogénicas y nativas de suelos de Malasia fueron capaces de causar marchitez y retardo del crecimiento en palmas de vivero (Hoo y Varghese 1986; Flood et al. 1989). Estas observaciones podrían ser interpretadas como un peligro potencial para las plantaciones de palma aceitera de todo el mundo de parte de muchas razas de *Fusarium oxysporum*, o bien ponen dudas razonables sobre el verdadero potencial patogénico del hongo, tanto de razas aún no asociadas a síntomas conocidos como de aquellas asociadas a la marchitez en África.

La germinación de las *clamidosporas* (estructuras de sobrevivencia del hongo) es estimu-

lada en la vecindad (*rizosfera*) de raíces, tanto de plantas hospederas del hongo como de otras no susceptibles (maíz). Una interpretación de este hecho es asumiendo que la tolerancia al patógeno es posterior a la germinación (Oritsejafor 1990), pero también podría significar otra cosa. El fenómeno de protección cruzada también ha sido observado: una infección previa por una raza débil de hongo, impide la infección por otra raza más agresiva (IRHO, 1992).

Existe evidencia de que el hongo puede ser llevado en la semilla sexual de la palma aceitera y aún en el polen (Locke y Colhoun 1973; Flood et al. 1990). Una vez establecido en el suelo, el hongo puede permanecer allí por años asociado a las raíces de varias malezas que pueden no mostrar síntomas visuales de la infección. Algunos de estas plantas (comunes en plantaciones de palma aceitera) son *Amaranthus spinosus*, *Eupatorium odoratum*, *Mariscus alternifolius* e *Imperata cylindrica* (Oritsejafor 1986).

Inicialmente se pensó que la erradicación de las palmas con síntomas no era una opción viable debido a la capacidad de hongo de sobrevivir en el suelo. No obstante, esto no siempre fue claro, dado que había una alta correlación entre el porcentaje de palmas con síntomas que se dejaban en pie e incidencia después del replante (Prendergast 1957, Renard y Franqueville 1991).

Las palmas enfermas pueden aparecer como casos aislados o bien en focos. La probabilidad de una planta de ser afectada está en función de la distancia a la cual es sembrada de otra planta que mostró los síntomas. Un espacio de solo dos metros lejos del lugar donde una palma murió, puede reducir a la mitad la probabilidad de que la nueva palma sea infectada (Renard y Franqueville 1991).

Debido a que el progreso de la enfermedad en el tiempo es bastante lento (1-2% por año, Renard 1979), aún en materiales considerados muy susceptibles (y muy probablemente recibiendo un manejo agronómico inadecuado), el efecto de la enfermedad sobre el rendimiento de la plantación es bajo. Esto es particular-

mente cierto cuando se practica la erradicación temprana de las palmas afectadas, debido a que la reducción de la competencia por luz permite que las vecinas compensen el rendimiento de las palmas faltantes. En un caso se determinó que el rendimiento global de un lote no fue afectado hasta que se alcanzó 20% de incidencia. Por otro lado, un buen manejo agronómico ayudará sin duda alguna a compensar con creces el faltante de algunas pocas plantas cada año. El mejor manejo de la enfermedad yace entonces en escoger materiales de siembra tolerantes (Franqueville y Renard 1990), y posiblemente, tan importante como eso, dar el mejor manejo agronómico a la plantación considerando los puntos débiles del patógeno. El fuerte efecto ambiental que existe sobre la enfermedad, tanto en su incidencia (progreso en el tiempo) y severidad está ampliamente documentado en la literatura (Aderungboye 1982; Ollagnier y Renard 1976; Prendergast 1957; Renard y Quillec 1983; Oritsejafor 1986; Renard y Franqueville 1991), y se ilustra en los siguientes ejemplos:

- La incidencia aumenta después de periodos prolongados de sequía y la enfermedad es prevalente en regiones de África con periodos extensos con déficit hídrico. El efecto negativo de este déficit hídrico es incrementado cuando las temperaturas son muy altas (lo cual causa muerte de las raíces superficiales), el potasio en el suelo está en condición de deficiencia y los suelos tienen una baja capacidad de retención de humedad.
- La enfermedad aumenta en suelos con pobre aeración, lo cual también causa muerte de raíces. La baja aeración de los suelos puede ser causada por factores como la falta de una red de drenaje (o que esta no esté funcionando adecuadamente), compactación del suelo, texturas muy finas etc.
- La incidencia (y muy probablemente la expresión de los síntomas) se incrementa cuando se suspende la fertilización o bien la nutrición no está balanceada, a particularmente en la relación entre el nitrógeno y el potasio. La carencia de un programa adecuado de fertilización (balanceado, suficiente y oportuno) es un denominador común en un alto porcentaje de las plantaciones en África, en donde muchas plantaciones son huertos de antiguas palmas *dura* que reciben un manejo muy básico, y esta situación se agrava cuando los suelos tienen una baja fertilidad natural.

- La incidencia tiende a aumentar en suelos con texturas livianas, pH bajo y bajo contenido de materia orgánica, lo cual repercute en la capacidad de retención de agua del suelo y su fertilidad

Tolerancia genética

Existe una amplia respuesta en términos de tolerancia a la enfermedad en los diferentes materiales de siembra (Ollagnier y Renard 1976, Franqueville y Renard 1990). Es importante recordar que muchos de los huertos de palma aceitera en África son plantaciones naturales de la variedad *dura*, sin mucho trabajo de mejoramiento. Algunos materiales de siembra más recientes han mostrado tolerancia a la marchitez por *Fusarium* y es aparente que existe una relación entre la tolerancia a esta enfermedad y tolerancia a condiciones de estrés abiótico en general, tales como déficit hídrico, excesos de agua en el perfil del suelo etc. Es particularmente interesante que algunas progenies de la especie *E. oleifera* han mostrado tolerancia a la marchitez por *Fusarium*; ya

que también se ha encontrado que la tolerancia al estrés abiótico y a las pudriciones del cogollo en palma aceitera están relacionadas. En este sentido, la especie *E. oleifera* y sus híbridos con *E. guineensis* (OxG híbridos) muestran tolerancia a estas pudriciones.

El mejoramiento genético en busca de tolerancia a la marchitez por *Fusarium* puede ser relativamente simple, si se considera que la respuesta expresada en inoculaciones en palmas de vivero está relacionada con el comportamiento de campo. Existe una metodología de inoculación del hongo en palmas de vivero que permite seleccionar cruces promisorios por su tolerancia (Franqueville 1984; Prendergast 1963; Renard et al. 1980; Renard et al. 1972; Chinchilla 1987; Franqueville y Renard 1990). No obstante, la susceptibilidad parece estar asociada a muchos genes (¿Qué también determinan tolerancia a estrés abiótico?), lo cual aparentemente impide la obtención de una completamente resistente (Prendergast 1963).

Conclusiones

Una revisión de la literatura disponible sobre el tema de la marchitez por *Fusarium* en palma aceitera, el intercambio de información con personas que conocen de la situación de la enfermedad en las áreas en que se presenta en África y el conocimiento sobre el manejo agronómico inadecuado de un alto porcentaje de los huertos de este cultivo en el continente, permiten concluir que *Fusarium oxysporum* f. sp. *elaeidis* no es un patógeno muy agresivo, sino que presenta muchos puntos débiles, y que actúa como oportunista en palmas previamente debilitadas por diferentes tipos de estrés abióticos.

Tomando en cuenta las debilidades apuntadas del patógeno (ampliamente documentadas en la literatura) es seguro concluir que si se escogen sitios para la siembra sin limitaciones extremas para el desarrollo del cultivo, se utilizan variedades tolerantes a la enfermedad (con tolerancia a estrés, particularmente déficit hídrico), y sobre todo, se da un manejo agronómico a la plantación que minimice el estrés, es

posible convivir con el patógeno sin que este cause daños económicos de importancia.

Algunas prácticas agronómicas obvias que deben seguirse donde existe riesgo de ataque del patógeno son aquellas para reducir el impacto del déficit hídrico en la estación seca y evitar que el suelo se sature de humedad, particularmente hacia el final de la estación de lluvias. Ejemplos de tales prácticas son

- 1 Utilizar las mejores plantas de vivero para llevar al campo,
- 2 Plantar temprano en la estación de lluvias, empezando en aquellos suelos con la menor capacidad de retención de humedad,
- 3 Agregar una cobertura (*mulch*: racimos vacíos) alrededor de las palmas antes de que se establezca la época seca y mantener una cobertura de leguminosas durante los primeros años de la plantación,
- 4 Dar a la planta una nutrición adecuada (suficiente, balanceada y oportuna). Se deben evitar los desbalances donde exista mucho nitrógeno en relación al potasio, particularmente durante la entrada de la estación seca. El potasio, en particular siempre debe estar en los ámbitos adecua-

dos, tanto en el suelo como en el follaje según la edad de la planta,

- 5 Mantener el suelo bien aireado, evitando la compactación y manteniendo un sistema eficiente de

drenaje que evite el encharcamiento superficial y mantenga bajo control el nivel freático.