

Las muchas caras de las pudriciones del cogollo (y de flechas) en palma aceitera y la importancia de un enfoque integral para su manejo

Carlos Ml. Chinchilla¹

Resumen

El uso de nombres arbitrarios para describir algunas 'enfermedades' que afectan las hojas nuevas y las flechas (hojas sin abrir) en palma aceitera; unido a la falta de evidencia concluyente para asociar estos síntomas con la presencia de un patógeno primario, ha causado mucha confusión en la literatura sobre los problemas fitosanitarios de esta especie en América tropical. En este trabajo, se sostiene la tesis de que la mayoría de estos desórdenes (que se ha asumido tienen un patógeno o grupo de patógenos como causa primaria), pueden ser todas variaciones de causas similares, donde cualquier patógeno y otro organismo relacionado solo juegan un papel como oportunistas en tejido previamente predispuesto.

Los desórdenes del crecimiento aludidos tienen como síntomas pudriciones, secamientos y decoloraciones en las hojas nuevas, las flechas y el cogollo en palmas tanto jóvenes como adultas. Este tipo de síntomas puede ser mejor entendido, explicado y manejado si se consideran casos particulares de un deterioro progresivo (decline) de una población de plantas. Este enfoque ha sido usado con éxito para prevenir y recuperar varios miles de hectáreas de palmares afectados por formas más o menos benignas de estos desórdenes. Los aspectos más relevantes considerados han sido el mejoramiento del manejo agronómico general, incluyendo aspectos sobre la aeración del suelo, la disminución del impacto del déficit hídrico, y el balance nutricional e hídrico de la planta.

No obstante, algunas formas de pudrición del cogollo (consideradas más 'agresivas') parecen resistirse a este enfoque; lo cual señala que existen aspectos que aún no conocemos y que deben ser estudiados y entendidos, a través de una investigación en donde participe un grupo multidisciplinario. La solución final a estos problemas posiblemente solo vendrá a través de un enfoque integral, en donde se combinen las buenas prácticas agronómicas (empezando por la escogencia del sitio de siembra) y el uso de variedades con resistencia/tolerancia. Las fuentes de resistencia/tolerancia parecen estar presentes en ambas especies, *Elaeis guineensis* y *E. oleifera*.

Introducción

La palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) presenta relativamente pocas enfermedades de importancia en cada uno de los diferentes ambientes en que ha sido sembrada comercialmente. En el sureste asiático, la pudrición basal de tronco causada por *Ganoderma* spp. es la única enfermedad de preocupación para los productores; mientras que en varios países africanos, la marchitez por *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f.sp. *elaeidis*) puede causar un daño importante en algunas plantaciones.

¹ ASD de Costa Rica, cmlchinchilla@gmail.com

En los trópicos americanos, existen dos problemas fitosanitarios de bastante importancia en muchas plantaciones: la enfermedad del anillo rojo asociada a la presencia del nematodo *Bursaphelenchus cocophilus* y las diferentes pudriciones del cogollo y flechas, de causas complejas.

Las 'enfermedades' que afectan los tejidos jóvenes de la palma aceitera (cogollo) en varios países incluyen desórdenes tales como la 'pudrición común de la flecha', el 'mal de juventud' o 'arqueo foliar', la 'pudrición del cogollo' o PC, la 'pudrición letal del cogollo', la 'pudrición seca de la flecha' o 'flecha seca', 'pudrición severa del cogollo', 'pudrición húmeda del meristemo', 'amarelamento fatal' etc. (Turner 1981, van de Lande 1986, Renard y Franqueville 1989, Swinburne 1993, Chinchilla y Durán 1999, Chinchilla 2008). La confusión generada por tantos nombres, se ha incrementado cuando se han usado algunos que previamente habían sido ya aceptados para denominar otras enfermedades de etiología mejor conocida; tal como es el caso del uso del nombre 'amarillamiento letal' en palma aceitera, cuando este nombre ya había sido usado para denominar una enfermedad en cocotero (fitoplasma).

Los términos 'pudrición del cogollo' y similares, se refieren a un grupo de síntomas, en donde las hojas jóvenes normalmente desarrollan 'amarillamiento' (clorosis) parcial, y las flechas aparecen con desecaciones o pudriciones parciales en el pecíolo, raquis o folíolos. La clorosis en porciones de las hojas está asociada con la pudrición/desecación de partes del raquis y/o pecíolos. Las hojas más viejas no son afectadas inicialmente.

Esta gama de síntomas no han podido ser asociada a la presencia de ningún patógeno particular. No obstante, la incidencia y severidad del desorden están precedidas por eventos anteriores (factores de predisposición) que causan estrés sobre las plantas, particularmente si están soportando una alta carga de racimos. Además de esto, también es evidente que existen claras diferencias en susceptibilidad entre diferentes variedades, en donde aquellas caracterizadas por un crecimiento vegetativo vigoroso, como Deli x AVROS, son más susceptibles.

Las pudriciones/secamientos en las flechas y el cogollo de la palma aceitera, incluyendo aquellas que pueden causar la muerte de las plantas no son endémicas, en modo alguno, en América tropical. En forma general, la literatura sobre enfermedades de la palma aceitera hace referencia a este tipo de trastornos en todos los países y regiones en donde esta palma se ha cultivado. El resultado final de algunas de estas 'enfermedades' es la muerte de la planta, la cual puede ocurrir ocasionalmente aún en el caso menos severo de la 'pudrición común de la flecha/arqueo foliar' (Duff 1963, Kovachich 1957, Turner 1981, Watanavanich 1982, Mariau et al. 1992, Swinburne 1993, Chinchilla y Durán 1998). El autor ha visto síntomas idénticos a la PC en países como Tailandia y Honduras, en donde esta condición se supone no ocurre. Sin embargo, la incidencia ha sido tan baja que la 'enfermedad' nunca atrajo la atención. Esta situación claramente indica que la alta incidencia y severidad de estos desordenes en algunas regiones de América tropical puede estar relacionada a condiciones particulares de ambiente y manejo agronómico, y no a la presencia de un patógeno primario particularmente agresivo.

Además de esto, las 'pudriciones letales del cogollo', tal y como son a veces llamadas algunos de estos desordenes en América tropical, no son necesariamente letales, sino que una proporción variable de las plantas (que puede ser cercana a 100%) se puede recuperar de los síntomas. La

severidad de los síntomas, la velocidad de la recuperación y la proporción de plantas que se recuperan normalmente es dependiente del historial de manejo agronómico (desde el inicio mismo de la siembra) de la plantación.

Las muchas caras (síntomas) de las pudriciones de flecha y cogollo en palma aceitera

Las pudriciones y secamientos de los tejidos que forman el cogollo de las palmas (normalmente acompañados de hojas jóvenes parcialmente amarillas) constituyen el problema fitosanitario más importante de la palma aceitera en América tropical. A pesar de una investigación más o menos continua en varios países durante varias décadas, no se ha logrado identificar ningún patógeno como causa única de estos trastornos. Como consecuencia de esto, ha surgido toda una confusión, cuando se han dado numerosos nombres a desórdenes aparentemente diferentes que pueden ser simples variaciones de una misma condición. Algunos elementos en común de estos desórdenes son:

- a. Las hojas jóvenes y los tejidos cercanos al meristemo apical son afectados.
- b. El desarrollo radical (particularmente las raíces finas) aparece alterado, lo cual normalmente ocurre aún antes de que se desarrollen los síntomas aéreos.
- c. No se ha identificado un agente causal único como causa de todos los síntomas, a pesar de varias décadas de esfuerzo en esta dirección.
- d. La incidencia, la severidad de los síntomas y la habilidad de la planta para recuperarse se asocian con condiciones de estrés, particularmente aquellas que afectan la formación de raíces, su salud y longevidad.
- e. El trastorno está asociado a una nutrición pobre y desequilibrada.
- f. Un porcentaje de las plantas se recupera de los síntomas en forma 'espontánea' (aún en lugares en donde la gran mayoría de las plantas sucumbe a los síntomas).
- g. El mejoramiento de las prácticas agronómicas se asocia con una reducción en la incidencia, la severidad de los síntomas y la habilidad de las plantas de recuperarse.

La forma más benigna de estos desórdenes es normalmente llamada 'pudrición común de la flecha' (Fig. 1), la cual está siempre (o normalmente: según el criterio que se use) asociada con el llamado 'mal de juventud' o 'arqueo foliar'. Esta condición es común en plantas jóvenes (1-3 años), pero síntomas similares pueden ocurrir ocasionalmente en palmas de vivero y también las adultas. Las palmas así afectadas normalmente se recuperan 'espontáneamente' después de algunas semanas o meses (a veces años) de mostrar síntomas. La 'pudrición común de la flecha/arqueo foliar' (PCF/AF) ocurre en todas las regiones en donde se ha sembrado la palma aceitera (Duff 1963, Turner 1981, Corley y Tinker 2003). Una secuencia común de síntomas en palmas jóvenes es:

1. Acortamiento de las hojas jóvenes.
2. Pudrición limitada a algunas porciones de los folíolos en algunas de las flechas.
3. Doblamiento de algunos de los raquis y quebradura en algunos.
4. Porciones de las flechas y de las hojas nuevas muestran secamientos y pudriciones.
5. Producción por algún tiempo de hojas jóvenes más cortas durante la fase de recuperación.



Fig. 1. Pudrición común de flecha/arqueo foliar en una planta de vivero (*izquierda*) y en una palma joven en el campo (*derecha*). Los foliolos de parte de la porción doblada del raquis se pudren, se secan y se desprenden

Una variación de esta condición ha sido denominada 'wither tip' (Turner 1981), en donde los síntomas (pudrición y secamiento de los tejidos en las puntas de las hojas) (Fig. 2) tienden a ser recurrentes durante varios años en algunas plantas. La acumulación de hojas flecha, aún en condiciones de suelo húmedo, es un síntoma que suele preceder a las pudriciones de cogollo y flecha (Fig. 2).



Fig. 2a. Clorosis ('*amarillamiento*') extensiva en varias de las hojas más jóvenes acompañada de pudriciones y secamiento de la punta de las hojas (*wither tip*)



Fig. 2a. Acumulación de flechas (hojas sin abrir) en un suelo húmedo, lo cual puede precede a la aparición de síntomas de pudriciones del cogollo

Las pudriciones en palmas afectadas por PCF/AF normalmente no progresan hacia el meristemo, lo cual facilita la recuperación de las plantas. Sin embargo, en otras formas de pudriciones de flecha y cogollo, la pudrición de tejidos puede ser bastante extensiva y alcanzar el meristemo apical, en cuyo caso la palma muere.

Normalmente existe acuerdo (algunas personas pueden no estarlo, sin embargo) que la 'pudrición común de la flecha' y el 'arqueo foliar' son esencialmente la misma cosa; pero hasta aquí llegan comúnmente los acuerdos sobre nombres, síntomas y la existencia o no de agentes causales de origen biótico o abiótico de los diferentes desordenes que afectan las flechas y el cogollo de la palma aceitera. De esta forma, los nombres han proliferado, así como la especulación sobre los agentes causales (Duff 1963, Kovachich 1957, Turner 1981, Watanavanich 1982, Mariau et al. 1992, Swinburne 1993, Chinchilla y Durán 1998).

El más problemático de estos desórdenes ha sido llamado en América tropical, la 'pudrición del cogollo' (Fig. 3a), tal como ha sido descrita en varios países (Colombia, Ecuador, Brazil, Surinam, Nicaragua, Panamá...). Este tipo de desorden puede aparecer en palmas de cualquier edad, incluyendo el vivero. La descripción de los síntomas varía un poco entre regiones y las personas que lo describen, pero el principal punto de discrepancia, sin embargo, es sobre si la planta tiene o no alguna oportunidad de recuperarse.



Fig.3a. Síntomas típicos de 'pudrición del cogollo' (PC), que incluyen pudriciones y clorosis en porciones de las hojas más jóvenes



Fig.3b. Síntomas de 'flecha seca'. El grupo de flechas (hojas sin abrir) se seca, pero esto puede no estar precedido por pudriciones (o estas son limitadas) y la clorosis de hojas nuevas puede o no presentarse. Este complejo de síntomas puede interpretarse como una forma severa de 'wither tip'

La condición conocida en Costa Rica como 'flecha seca' (Fig. 3b) puede ser considerada, si se desea, una forma más benigna de la PC, y bastante similar a la PC descrita en Los Llanos Colombianos. El desorden aparece en palmas de cualquier edad incluyendo palmas de vivero ocasionalmente. La gran mayoría de las plantas afectadas eventualmente se recupera de los síntomas, luego de varios meses (e incluso años) de mostrar síntomas más o menos severos. Cuando el periodo de recuperación es muy extenso, los rendimientos de fruta pueden ser severamente afectados por 2-4 años. Si las palmas son invadidas por el picudo *Rhynchophorus palmarum*, esto puede fácilmente conducir a la muerte de la planta; lo cual también es cierto para todas las formas de pudriciones de flecha y cogollo, incluyendo la PCF/AF.

La severidad de los síntomas puede variar grandemente, aún entre palmas que crecen en proximidad. En algunas plantas, los síntomas son tan leves, que es difícil juzgar desde la distancia si ha sido o no afectada. Se podría decir incluso, que en algunas plantas los síntomas fueron tan leves que aparecen como si nunca hubieran sido afectas (juzgadas luego de varios años). Estas plantas pueden ser consideradas en forma errónea como 'resistentes' o tolerantes'.

Una planta con un ataque ligero de PC puede mostrar uno o dos círculos de hojas con 'amarillamiento' parcial (Fig. 4), pero sin que esto degenera en pudrición de otros tejidos, o solamente una pudrición/secamiento limitada en un lado del pecíolo. Normalmente, estas plantas se recuperan con facilidad y en algunos casos incluso puede desaparecer el 'amarillamiento' de algunas porciones de las hojas afectadas.



Fig. 4. Palmas mostrando clorosis de varias de las hojas más jóvenes y con ausencia de pudriciones o secamientos (o bien esos son muy leves). La palma de la izquierda es de la variedad tolerante Bamenda x Ekona

Otra variación de este mismo tema ('amarillamiento' y secamiento de algunas porciones de las hojas más nuevas) es la condición conocida en Costa Rica como 'hoja enana' (Fig. 5). Estos síntomas (que normalmente se observan en palmas de 2-3 años en el campo) pueden ocurrir en ausencia de pudriciones de las flechas o en la región del cogollo. Las hojas nuevas de estas plantas son bastante más cortas y tienen una coloración pálida. Este tipo de síntoma fue comúnmente observado en palmas que fueron sembradas en sitios previamente afectados por la condición de la 'flecha seca'. En todos los casos, este tipo de plantas se recuperaron en pocas semanas (o meses) sin que aparentemente el ataque tuviera efectos muy negativos.



Fig. 5. Condición denominada 'hoja enana' que puede o no preceder al desarrollo de síntomas de 'pudrición del cogollo' o 'fleche seca'. La palma de la derecha presenta clorosis de hojas nuevas, pero sin pudriciones

La PC ha sido descrita en algunas regiones de América tropical como siempre letal para la planta, pero esta posición ha demostrado no ser necesariamente cierta (Fig. 6). Aún en plantaciones en donde se había asumido que todas las plantas afectadas eventualmente morirían (ej. Oriente Ecuatoriano, Surinam, costa Atlántica de Nicaragua, Pará en Brazil), es posible observar después de varios años (cuando incluso la plantación ya había sido abandonada) muchas plantas que 'escaparon' al ataque, o bien este fue tan leve que no dejó señales visuales permanentes.



Fig. 6. *Izquierda.* Todas las palmas en este sitio fueron afectadas por pudriciones del cogollo y están claramente en la fase de recuperación (costa Pacífico central, Costa Rica). *A la derecha* un sitio con palmas en recuperación en la costa Atlántica de Nicaragua

A pesar de que la PC (tal como es normalmente descrita) ha sido señalada por muchos como la principal amenaza para la industria de la palma aceitera en América tropical, se ha dejado de lado, que otras formas de pudriciones del cogollo podrían ser aún más destructivas. El caso de lo que se ha llamado 'pudrición severa del cogollo' o 'pudrición húmeda del meristemo' es particularmente peligroso, puesto que este desorden normalmente mata la planta en aparentemente pocos días (o semanas). Se puede argumentar que la 'pudrición severa del cogollo'

(PSC) es lo mismo que PC (de hecho creemos que es otra variación del mismo tema), pero ciertamente ofrece algunas diferencias importantes con respecto a la PC clásica (Figs. 7-8).



Fig. 7. *Izquierda arriba.* ‘Pudrición severa del cogollo’ caracterizada por una pudrición rápida y generalizada (licuefacción) de los tejidos cercanos al meristemo (*derecha*), que causa el secamiento ‘repentino’ del paquete de flechas y algunas de las hojas más jóvenes, sin clorosis previa. Estos síntomas son claramente diferentes a la condición conocida como ‘amarillamiento fatal’ en Pará, Brasil, que es similar a la PC (*Izquierda abajo*), en donde existe clorosis de hojas nuevas, la pudrición de tejidos es más lenta y puede no alcanzar el meristemo (*Derecha*).

La PSC afecta mayoritariamente palmas jóvenes (primeros 3-4 años en el campo), pero puede ocurrir también en palmas de mayor edad. En el estado de Pará en Brasil se observó una incidencia bastante importante de este problema en algunas plantaciones. Normalmente, el primer síntoma observado es un secamiento repentino (sin ‘amarillamiento’ previo generalmente) de todo el paquete de flechas y algunas de las hojas más jóvenes. Este secamiento es el resultado de una pudrición extensiva (licuefacción de tejidos) en la base de estas estructuras. La pudrición pronto alcanza la región meristemática y mata la planta. Los síntomas externos realmente no guardan una relación con la naturaleza extensiva de estas pudriciones, por

lo cual la mayoría de las hojas ya formadas de la planta permanecen inicialmente verdes, por lo cual las plantas pueden incluso pasar por sanas en una inspección superficial. No existe evidencia de que este tipo de desorden se disemine y el número de nuevos casos disminuye con la edad de la plantación.



Fig. 8. Hojas jóvenes cortadas de palmas que mostraban síntomas de PC (*izquierda*) o pudrición severa del cogollo (*derecha*)

Los organismos asociados

Varias décadas de esfuerzos más o menos continuos tratando de identificar un patógeno particular como causa única de las pudriciones de flecha y cogollo en palma aceitera han fracasado. El caso de la pudrición común de la flecha es interesante, puesto que estos esfuerzos se pueden seguir hasta el momento mismo que las primeras plantas de palma aceitera fueron traídas al continente en 1928, y algunos individuos presentaron los síntomas característicos y se trató de establecer la etiología del problema.

A través de los años se han dado esfuerzos para asociar la PC a muchos organismos potencialmente patogénicos que se han encontrado o no en el tejido enfermo. Para tratar de contrarrestar los efectos de estos patógenos (reales o ficticios) se han aplicado sobre las plantas afectadas todo tipo de agroquímicos, incluyendo productos con acción contra fitoplasmas, fungicidas, bactericidas, nematicidas, etc. Este esfuerzo no ha llevado a ninguna parte. No obstante, todos los organismos hasta ahora aislados de tejido infectado comparten algunas características:

1. Son todos patógenos 'débiles', oportunistas y presentes en casi cualquier ecosistema.
2. Solo prosperan en tejidos previamente debilitados por algún tipo de estrés.
3. Atacan tejidos en activo crecimiento.

Este tipo de organismos están también presentes en los llamados '*declines*' que afectan especies forestales y otros cultivos como aguacate, cítricos, duraznos, etc. (Manion y Lachance 1992).

En el caso de las pudriciones del cogollo, cuando los puntos de crecimiento (en el cogollo y sistema radical) han sido debilitados por estrés pueden ser atacados por múltiples organismos oportunistas, incluyendo patógenos como *Pythium* spp., *Phytophthora* spp., *Fusarium* spp., *Thielaviopsis* spp., *Erwinia* spp. etc.), y cualquier otro que pueda tomar ventaja de la situación, tales algunos artrópodos (sinfílicos por ejemplo), que causan un mayor deterioro y crean nuevas puertas de entrada a los oportunistas.

Debe tenerse presente que efectivamente existen algunos organismos que pueden agravar severamente la condición de una planta enferma. En Ecuador por ejemplo, el ataque del barrenador de las raíces, *Sagalassa valida* puede debilitar el sistema radical a un punto intolerable para la planta agravando cualquier problema de pudriciones de cogollo. La presencia de *Cyparisius daedalus* (*Castnia daedalus*) en Para, Brasil ha estado ligada estrechamente a la muerte final de las plantas, y en la mayoría de los países, el ataque de *Rhynchophorus palmarum* no puede ser separado de la muerte de muchas plantas inicialmente atacadas por PC.

Aún en el caso de encontrarse eventualmente un patógeno particular (o grupo de patógenos) como responsables de todos los síntomas de la PC y trastornos similares, esto no necesariamente conduciría a desarrollar una estrategia efectiva de manejo de estos problemas. Ya se mencionó que se ha intentado prevenir (curar) los síntomas usando todo producto imaginable sin resultados positivos. Los casos del 'amarillamiento letal del cocotero' y la 'marchitez por *Fusarium*' en palma aceitera ilustran aún más este punto. En el caso de la marchitez por *Fusarium*, la severidad del problema parece tener su origen en malas prácticas agronómicas, y está estrechamente asociado con condiciones claramente desfavorables para la siembra exitosa de la palma aceitera; lo cual incluye un manejo inadecuado de las propiedades físicas y químicas de los suelos en que ocurre el problema (baja fertilidad, particularmente bajos contenidos de potasio, fuerte déficit hídrico en suelos con baja capacidad de retención de humedad; lo cual puede estar combinado con otros periodos de alto nivel freático etc.) (Turner 1981, Renard y Franqueville 1989). El uso de variedades tolerantes y sobre todo, mejores prácticas agronómicas parecen ser la solución a este problema.

Factores de predisposición

Todos los trastornos descritos comparten algunas características con lo que se conoce en la literatura fitopatológica como 'declines'. Este tipo de trastornos parecen estar causados por la inhabilidad de una población de plantas de sostener un crecimiento de biomasa en condiciones marginales o cambiantes (Manion y Lachance 1992, Chinchilla y Durán 1998, 1999, de Franqueville 2001). Algunas de las características compartidas por las pudriciones de flecha y de cogollo en palma aceitera con los llamados '*declines*' son:

1. El incremento de la incidencia en el tiempo sigue una tendencia lineal (al menos en muchas situaciones).
2. Una porción o toda la población afectada puede recuperarse parcial o totalmente de los síntomas
3. Existe un fuerte efecto de 'sitio' sobre la incidencia y severidad.
4. No se pueden asociar todos los síntomas a un patógeno particular.

5. Todos los organismos asociados son oportunistas, patógenos 'débiles' (Manion y Lachance 1992, Bergamin et al. 1997, Chinchilla y Durán 1998, 1999).

Para la forma más benigna del problema (la pudrición común de la flecha/arqueo foliar), la susceptibilidad parece estar en parte genéticamente determinada (Blaak 1970), pero también se pueden identificar varios factores de predisposición. El desorden está asociado a factores que afectan la relación parte aérea/raíz, particularmente que causan un desarrollo pobre de las raíces (aeración pobre del suelo (drenaje pobre, compactación...), nutrición desequilibrada (alta razón N/K) (Turner 1981, Breure y Soebagjo 1991, Sterling y Alvarado 1996, Alvarado et al. 1997, Chinchilla et al. 1997).

En plantaciones comerciales, normalmente se notan dos picos de mayor incidencia de PCF/AF, particularmente donde existe un periodo seco definido. El primero de estos picos coincide con el establecimiento del segundo periodo de lluvias luego del trasplante al campo. En áreas con un periodo seco definido se puede esperar la formación de pocas raíces nuevas y más bien se da la muerte de mucho del sistema radical superficial. Cuando las lluvias se inician, es práctica común aplicar el fertilizante, a veces altas dosis de nitrógeno, para estimular el nuevo crecimiento aéreo, en detrimento del desarrollo radical. Esta secuencia de eventos se asocia con un primer aumento en incidencia de la PCF/AF. El segundo pico normalmente ocurre hacia el final del periodo de lluvias cuando el suelo se ha saturado de humedad, con el consiguiente daño al sistema radical.

La PCF/AF es normalmente manejada utilizando prácticas agronómicas que reduzcan el impacto del déficit hídrico y los excesos de agua en el suelo y dando a la planta una nutrición balanceada. La incidencia también ha decrecido en plantaciones comerciales pues los padres que confieren susceptibilidad han sido removidos de los programas de mejoramiento poco a poco

Las pudriciones del cogollo en general se asocian con factores que afectan en forma negativa el desarrollo radical (formación de nuevas raíces y deterioro de las ya formadas). Estos son los factores de predisposición, tales como una mala aeración de los suelos y un periodo de sequía prolongado. La mala aeración de suelo puede ser causada por un drenaje impedido (capas impermeables en el perfil, nivel freático fluctuante, texturas muy finas o contrastantes en el perfil, compactación). El efecto negativo de una sequía sobre el sistema radical es acentuado en suelos con una baja capacidad de retención de humedad y bajos contenidos de potasio. En general, cualquier factor que afecte en forma negativa la formación y longevidad del sistema radical podría predisponer a la planta a un ataque.

Desde un punto de vista nutricional, la PC tiende a alcanzar mayores incidencias en suelos con bajos contenidos de potasio y fósforo, o en donde existen desequilibrios entre las bases (Mg, Ca y K) (Chinchilla y Durán 1999, Cristancho et al. 2007). Una combinación potencialmente desastrosa podría ser el uso de dosis excesivas de nitrógeno en una situación, en donde el potasio está en condiciones de deficiencia (o desequilibrio con las otras bases), se presente un déficit hídrico severo en un suelo con baja capacidad de retención de humedad, seguido de anegamiento del suelo por altas precipitaciones. Esta combinación de eventos causa la pérdida excesiva del sistema radical fino y la incapacidad de renovarlo y ha precedido una alta incidencia de PC en algunos sitios.

La presencia de PC también ha sido asociada a alta saturación de aluminio en los suelos, bajos contenidos de zinc y cobre y un desequilibrio en la relación Mn/Fe, pero estas relaciones no son siempre claras. Cuando los suelos están saturados de humedad, algunas formas de hierro tienden a acumularse en las raíces (causando toxicidad) y se pueden producir síntomas de deficiencia en las hojas más jóvenes.

La caracterización de lo que constituye una planta predispuesta sería un paso importante hacia el entendimiento de las pudriciones del cogollo y su manejo. Por ahora, conocemos algunas características que parecen estar presentes en una planta predispuesta (estresada):

- a. La presencia de un sistema radical deteriorado y la persistencia de los factores que llevaron a ese deterioro.
- b. Reducción en la tasa de elongación de algunos órganos como el raquis y el pecíolo.
- c. Una alta carga de racimos en condiciones desfavorables para su mantenimiento.
- d. Baja disponibilidad de potasio.
- e. Cambios en las gradientes de nutrientes en los tejidos, particularmente K, Ca y la relación N/K
- f. Acumulación de metabolitos de bajo peso molecular (azúcares solubles, compuestos nitrogenado y otros productos de degradación) en las hojas.
- g. Balance hídrico alterado (regulación estomática y potencial hídrico).
- h. Posibles relaciones desfavorables Fe/Mn y entre otros elementos (bajo Cu).
- i. Posible deficiencia inducida de Ca (alteración de la corriente de transpiración).

Sin embargo, no todos los elementos arriba mencionados están siempre presentes en una planta supuestamente predispuesta, y es seguro que habrá otros (incluso más importantes) que podrían caracterizar mejor la predisposición. Esta es un área de investigación que amerita atención. En general, pareciera que existe una alteración importante en el flujo floemático que no llega a los tejidos en crecimiento que dependen enteramente de nutrientes externos (tejidos en activo crecimiento). Este tipo de desorden en el floema explicaría los síntomas catastróficos que son observados en algunas plantas.

El desencadenamiento de los síntomas de la llamada 'flecha seca' en Costa Rica parece estar precedida por una secuencia de eventos que podrían indicar la presencia de uno o más tipos de estrés que habían estado afectando la planta por algún tiempo antes de que aparecieran los primeros síntomas claros del desorden. El efecto adverso parecía ser más negativo en aquellas plantas que estaban creciendo vigorosamente y tenían una alta carga de racimos. La secuencia de eventos (previos, contemporáneos y posteriores) a la aparición de los síntomas clásicos en palmas jóvenes fue:

1. Aborto de inflorescencias
2. Reducción en el 'fruit set' (flores que desarrollaron frutos normales)
3. Reducción en la sección transversal del pecíolo y el largo del raquis
4. Reducción en la cantidad de raíces finas
5. Aparición de los primeros síntomas clásicos ('amarillamiento' en la base de algunos folíolos localizados en la base de algunas hojas jóvenes acompañado o no de pudriciones o secamientos en áreas limitadas de las hojas flecha)

6. Reducción en el peso promedio del racimo y en el contenido de aceite (Albertazzi y Chinchilla 2005).

Algunas de estas mismas tendencias habían sido observadas en plantas que eventualmente desarrollaron la condición de PCF/AF (Chinchilla et al. 1997).

Los primeros eventos que se consideraron anteriores a la aparición de los síntomas típicos de la enfermedad fueron observados al menos 5-6 meses antes (la reducción en el 'fruit set', por ejemplo). Si consideramos el aborto de inflorescencias, entonces, tendríamos que retroceder aún más en el tiempo (¿Coincidente con una sequía severa o anegamiento prolongado?). Este tipo de observaciones, no son fácilmente conciliables con la teoría de un patógeno como causa primaria del desorden. Por supuesto, que la presencia de todos o algunos de estos eventos previos no indica necesariamente que una planta desarrollará los síntomas, pero ciertamente es una indicación de que algo anda mal y se debe prestar atención.

El tipo y severidad de los síntomas (clorosis, desecación y pudrición de tejidos) y la rapidez con que una planta podía recuperarse estuvieron relacionados con el grado de deterioro del sistema radical y la habilidad de la planta de recuperar las raíces perdidas. Todo esto previo a la aparición de los síntomas aéreos típicos (Albertazzi and Chinchilla 2005).

Resistencia y tolerancia

La especie *E. oleifera* es una fuente importante de resistencia a las pudriciones del cogollo, y esta resistencia puede ser combinada con los genes de *E. guineensis* para obtener los híbridos OxG que han sido plantados en sitios previamente afectados por la PC con un grado variable de éxito.

Los híbridos tradicionales presentan algunos problemas agronómicos importantes tales como un desarrollo vegetativo desuniforme, crecimiento excesivo, tallos muy gruesos, hojas muy largas (lo que limita la densidad de siembra), peciolo muy gruesos (dificultad para la cosecha), menor contenido de aceite y problemas de polinización (necesidad de polinización asistida). Sus ventajas más clara son la resistencia/tolerancia a las pudriciones del cogollo y un aceite menos saturado. Los híbridos OxG pueden ser genéticamente mejorados para que retengan más de las características deseables de *E. guineensis*, y este esfuerzo forma parte de varios programas de mejoramiento (ASD 2007).

La búsqueda de tolerancia a las pudriciones de flecha y cogollo puede también ser conducida dentro de la especie *Elaeis guineensis*. Existe evidencia concreta que las madres Deli son particularmente susceptibles, y que una de las variedades más populares, Deli x AVROS puede ser severamente afectada. Hasta el momento, todas las variedades comerciales '*guineensis*' son susceptibles, pero algunas presentan tolerancia que puede expresarse por una combinación de las siguientes características

1. El desorden aparece más tardíamente después de la siembra en el campo
2. La tasa de incremento del problema en el tiempo es menor
3. Los síntomas son menos severos
4. Recuperación más rápida de los síntomas

5. Menor incidencia final
6. Efectos menores sobre el rendimiento (Chinchilla et al. 2006, Chinchilla 2007).

Algunos genes en el origen paterno Ekona parecen conferir un mayor grado de tolerancia, así como otros orígenes paternos, también caracterizados por presentar tolerancia al estrés en general, y en particular al déficit hídrico, tales como Mobai y Malawi (experimentales por ahora) y La Mé (comercial). Por otro lado, madres de origen Bamenda y Tanzania (comerciales) y Angola y Entebbe (experimentales) también parecen conferir tolerancia a las pudriciones de cogollo y son resistentes a estrés en general, particularmente bajas temperaturas y déficit hídrico.

El comportamiento de la variedad comercial Bamenda x Ekona ha sido particularmente consistente en varias localidades, en donde su respuesta de tolerancia a la PC se ha definido por las características apuntadas anteriormente. Otros cruces comerciales y experimentales con potencial se han encontrado en las variedades Deli x La Mé, Tanzania x Ekona, Angola x Ekona, Deli/Angola x La Mé y Tanzania x Ghana. Las variedades comerciales Deli x Ghana y Deli x Nigeria son susceptibles, pero en menor grado que Deli x AVROS (síntomas menos severos y una recuperación vegetativa y productiva más rápida). Por ahora no existe suficiente experiencia con los diferentes clones y variedades de semilla compactas, pero se han observado algunas diferencias entre ellos.

La idea de que existen factores de predisposición (estrés) como elementos previos al desencadenamiento de los síntomas de la PC y trastornos similares se fortalece debido al hecho de que las variedades que presentan tolerancia a estrés (hídrico, bajas temperaturas...) tienden a ser tolerantes también a estos desordenes en palma aceitera (Alvarado y Sterling 2005; Chinchilla et al. 2006). Esta línea de investigación está siendo seguida actualmente.

Conclusiones

La búsqueda de las causas y soluciones para los diferentes problemas fitosanitarios de la palma de aceite ha sido bastante fructífera durante aproximadamente los últimos quince años, y se han diseñado estrategias de manejo integrado para la mayoría de ellos. Este ha sido el caso para enfermedades como el anillo rojo, la marchitez sorpresiva y también para algunas formas de pudriciones de flecha y cogollo. La idea central de un manejo integrado se basa en el principio de que la prevención es la primera barrera contra los problemas fitosanitarios. Algunos elementos que deben ser estándar en la industria son el uso de materiales de siembra de fuentes reconocidas, mejores prácticas de vivero y de preparación del área de siembra (para causar el mínimo daño a sus propiedades físicas, químicas y de equilibrios biológicos), manejo eficiente del agua del suelo, mejores prácticas agronómicas durante el periodo pre-productivo y un seguimiento permanente del estado de la plantación. Detrás de todos estos elementos está el hecho de que un sistema radical saludable garantiza una planta saludable y que muchos problemas fitosanitarios tienen su origen en un sistema radical pobremente desarrollado y/o debilitado.

Varios desordenes que afectan las flechas, hojas jóvenes y el cogollo en general de la palma aceitera constituyen el problema fitosanitario de mayor preocupación en América tropical. Debido a la incapacidad de definir un agente (o agentes) causal para estos trastornos, se han

originado varios nombres locales que han introducido bastante confusión en la literatura científica sobre esta palma. No obstante, todos estos desórdenes comparten síntomas similares, y normalmente están claramente asociados con condiciones ambientales y de manejo agronómico similares; lo cual puede tomarse como una indicación de que podrían desarrollarse estrategias de manejo comunes para todos ellos.

La incidencia, severidad y habilidad de recuperación de las palmas afectadas por las pudriciones de cogollo están estrechamente asociadas con factores del ambiente (que ocurrieron previamente y en el momento del ataque, y que afectaron (afectan) negativamente el crecimiento), el manejo agronómico (posiblemente desde el momento de la siembra), y el tipo de organismo que actúa como patógeno secundario u oportunista.

Si consideramos la escasa evidencia en favor de la existencia de un único patógeno (o incluso de un grupo de patógenos) como causa única de las pudriciones del cogollo en palma aceitera, y las dificultades de desarrollar una alternativa de manejo económicamente viable mediante un ataque frontal a tal patógeno hipotético, llegamos a la conclusión de que es imperativo buscar formas alternativas de manejo. Una vía es estudiar, definir y manejar los factores ambientales asociados con la incidencia, severidad y habilidad de recuperación de las plantas. La investigación debería enfocarse en entender y caracterizar con claridad lo que constituye una planta (o plantación) predispuesta de manera que se tomen las medidas de corrección oportunamente (remoción de los factores de estrés) antes de que el desorden se generalice. La anticipación a los periodos de estrés (alta carga de racimos o estrés hídrico por ejemplo) es de fundamental importancia. Dentro de este esquema es también esencial definir los eventos fisiológicos previos que conllevan eventualmente al desencadenamiento de los síntomas clásicos.

Todos los factores agravantes, tales como el ataque de *Rhynchophorus palmarum*, *Sagalassa valida* o *Cyparissius daedalus* deben ser detectados tempranamente y manejados en forma oportuna.

El desarrollo de variedades comerciales con resistencia/tolerancia es también parte importante del manejo, pero debe recordarse que no puede obtenerse un rendimiento económico sostenido de ningún genotipo si el manejo agronómico es inadecuado. Esto es particularmente cierto si efectivamente, la tolerancia al estrés y a las pudriciones de cogollo están asociadas, puesto que debe esperarse que los mecanismos fisiológicos responsables de la tolerancia al estrés demandan energía, que de otra manera podrían destinarse a la producción de aceite.

La solución final para todos estos trastornos solo se obtendrá a partir de la investigación y exigirá el trabajo de un grupo multidisciplinario. Este trabajo de equipo necesita de especialistas en suelo y en fisiología y no solo de fitopatólogos. Al final, la solución vendrá posiblemente de una combinación de mejores prácticas agronómicas adecuadas para cada plantación particular y del uso de variedades tolerantes (o resistentes). Los genes de tolerancia parecen estar en ambas especies, *E. oleifera* y *E. Guineensis*.

Literatura

- Alvarado, A; Chinchilla, C; Bulgarelli, J; Sterling F (1997). Agronomic factors associated with common spear rot in oil palm. ASD Oil Palm Papers, 15: 8-28.
- Alvarado, A. y Sterling, F. 2005. Variedades de palma aceitera tolerantes al estrés. ASD Oil Palm Papers, 28: 5-20.
- ASD de Costa Rica. 2007. Nuevo híbrido OxG Compacto (Características varietales). 7p.
- Bergami, A; Amorin, L; Laranjeira, F; Berger, R; Hau, B (1998). Análise temporal do amarelecimento fatal do dendezeiro como ferramenta para elucidar sua etiologia, Fitopatol. Bras. 23: 391-396.
- Blaak, G (1970). Epistasis for crown disease in the oil palm. Euphytica, 19:22-24.
- Breure, C and Soebagio, F (1991). Factors associated with the occurrence of crown disease in oil palm and its effects on growth and yield. Euphytica, 54:55-64.
- Chase, A and Broschat, T (1991). Diseases and disorders of ornamental palms. American Phytopathological Society, U.S.A. 56 p.
- Chinchilla, C (2003). Integrated management of phytosanitary problems in oil palm in Central America. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología, 67: 69-82.
- Chinchilla, C and Durán, N (1998). Management of phytosanitary problems in oil palm: an agronomic perspective. Palmas, 19 (número especial): 242-256.
- Chinchilla, C and Durán, N (1999). Nature and management of spear rot-like problems in oil palm: a case study in Costa Rica. Proc. of the 1999 PORIM International Palm Oil Congress -Emerging Technologies and Opportunities in the Next Millennium (Agriculture), Kuala Lumpur, Malaysia. 1-6 February 1999. p. 97-126.
- Chinchilla, C; Salas, A; Castrillo, G (1997). Common spear rot/crown disease in oil palm: effects on growth and initial yields. ASD Oil Palm Papers, 16: 1-17.
- Chinchilla, C.; Alvarado, A.; Albertazzi, H; Torres, R.. 2006. Tolerancia y resistencia a las pudriciones del cogollo en fuentes de diferente origen de *Elaeis guineensis*. Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite, Cartagena. Septiembre, 2006. 23 p.
- Chinchilla, C. 2007. Experiencias y estrategias de Costa Rica en el manejo de la PC y mejoramiento genético para la obtención de nuevas variedades. Taller sobre pudrición del cogollo en Tumaco, Colombia. Octubre 2007. 12 p.
- Cristancho, J., Castilla, C., Mojas, M., Munevar, F. Silva, J. 2007. Relación entre la saturación de Al, Mg, K y la tasa de crecimiento de la pudrición del cogollo de la palma de aceite en la zona oriental de Colombia. Palmas, 28(2): 25-35
- de Franqueville, H (2001). Oil palm bud rot in Latin America: preliminary review of established facts and achievements. CIRAD/BUROTROP, France. 33 p.
- Duff, A (1963). The bud rot little leaf disease of the oil palm. J. West Inst. Oil Palm Res. 4 (14): 176-190.
- Kovachich, W (1957). Some diseases of the oil palm in the Belgian Congo. J. West Afr. Inst. Oil Palm Res. 2: 221-229.
- Malaguti, G (1953). Pudrición del cogollo de la palma aceitera Africana en Venezuela. Agronomía Tropical, 3: 13-31.
- Manion, T and Lachance, D (1992). Forest Decline Concepts. APS Press. Minnesota. 249 p.
- Mariau, D; van de Lande, H; Renard, J; Dollet, M; Rocha, L; Rios, R; Orellana, F; Corrado, F (1992). Pudriciones del cogollo en palma aceitera, en América Latina. Sintomatología, epidemiología e incidencia. Oléagineux, 47(11): 605-618.

- Monge, J; Chinchilla, C; Woung, A (1993). Studies on the etiology of the crown disease/common spear rot in oil palm. ASD Oil Palm Papers, 7:1-16.
- Monge, J; Vásquez, N; Chinchilla, C (1994). Common spear rot/crown disease in oil palm: anatomy of the affected tissue. *Elaeis*, 62(2): 102-108.
- Renard, J and de Franqueville, H (1989). Oil palm bud rot. *Oléagineux* 44 (2):87-92.
- Renard, J and de Franqueville, H (1989). La fusariose du palmier á huile. *Oléagineux*, 44(7):341-349.
- Sterling, F and Alvarado, A (1996). Crown disease\common spear rot: genetic differences and effect on initial production. ASD Technical Papers, 12: 18-32.
- Swinburne, T (1993). Fatal yellows, bud rot and spear rot of African oil alm. A comparison of the symptoms of these diseases. *The Planter*, 69(802): 15-23.
- Turner, P (1981). *Oil Palm Diseases and Disorders*. Oxford University Press. New York.
- van de Lande, H (1983). Studies on the epidemiology of spear rot in oil palm in Suriname. Thesis. Univ., Wageningen.
- van de Lande, H (1986). Diseases of fatal character to the oil palm in Surinam and in North Brasil. *De Surin. Landb.* 34 (1,2,3: 1 12.
- Watanavanich, P (1982). Oil palm diseases in Thailand. *The Oil Palm in the Eighties* (Pushparajah and Soon eds.). The Incorporated. Society of Planters. Kuala Lumpur, Malaysia. p 457-460.

plano del raquis. Los foliolos se catalogaron como 'erectos' (ángulo entre 60-90°), 'semi-erectos' (ángulos entre 30-59°), o 'planos' (ángulos entre 0 - 29°).

Perfil de la hoja (curvatura del raquis). Se determinó el cambio en el ángulo con respecto a la horizontal a lo largo del raquis para definir su curvatura. Este ángulo se midió con un instrumento particular (Fig. 2) en la sección media de cada una de las cuatro porciones en que se dividió el raquis. Los datos se ajustaron a una ecuación polinomial de segundo grado para obtener la curvatura (a partir de una concatenación).



Fig. 2. Instrumentos usados para determinar la curvatura del raquis. Derecha. Medición de PARin no interceptada con un radiómetro

La interceptación de luz se midió con un radiómetro de punto, modelo SKP215 (Skye Instruments Campbell Scientific Ltd), el cual se colocó a aproximadamente 50 cm y 20 cm por debajo y encima de la parte media de cada sección del raquis. Las mediciones se complementaron con datos a cielo abierto (I_0), lejos de cualquier sombra proyectada. La información obtenida se utilizó para estimar la media (de las cuatro secciones del raquis) de luz fotosintéticamente activa (RFAin) interceptada.

Resultados y discusión

Crecimiento vegetativo

El clon Sergio presentó la arquitectura más compacta de los tres estudiados: el diámetro del dosel fue menor y sus hojas eran más cortas, pero el valor de la sección transversal del pecíolo fue alto. El crecimiento en el clon Prince fue intermedio y Savegre fue el que mostró el crecimiento más vigoroso: mayor diámetro del dosel y mayor altura (Cuadro 1) y similar al cruce de semilla, Deli x AVROS.

La apariencia general de las plantas de cada clon fue bastante distintiva: Sergio y Prince tienen un dosel abierto y el segundo, en particular, tiene una apariencia que se puede denominar tipo 'paraguas', debido al hábito de las hojas 'caídas' en las puntas. Savegre, por otro lado, tiene un

tipo más similar a las variedades de semilla '*guineensis*' (porte más erecto, con hojas menos caídas hacia las puntas).

Cuadro 1. Crecimiento vegetativo¹ en tres clones compactos de palma aceitera

Variable	Sergio	Prince	Savegre
Número de hojas	37.0	37.5	35.9
Total de foliolos	208.5	203.2	232.0
Longitud de foliolos (cm)	64.4	68.1	68.8
Ancho de foliolos (cm)	3.7	3.5	3.6
Diámetro del tronco (cm)	40.7	37.9	42.0
Diámetro del dosel (cm)	489.5	541.9	660.1
Altura de la palma (cm)	355.3	351.0	457.4
Longitud del peciolo (cm)	47.2	67.6	76.5
Longitud del raquis (cm)	216.5	216.9	270.4
Ancho del peciolo (cm)	4.4	2.9	4.0
Grosor del peciolo (cm)	2.5	3.2	2.2
Área del peciolo (<i>PxS</i>)	5.5	4.5	4.1

¹ Hoja en posición 17 en la filotaxia de 15 plantas de 29 meses en el campo

Estimados del área foliar

Los estimados del área foliar obtenidos con la ecuación de Hardon (Hardon et al. 1969) sobreestimaron el valor 'real' (obtenido con el medidor LI-COR). Para la variedad de semilla Deli x AVROS esta sobreestimación fue 33% (Cuadro 2), lo cual fue inesperado, puesto que la ecuación de Hardon fue desarrollada a partir de una variedad '*guineensis*'.

Cuadro 2. Estimados del área foliar (m²) en una variedad de semilla (Deli x AVROS) y tres clones compactos de palma aceitera

Material	Área foliar real ¹	Área foliar estimada ²	Sobre-estimación (%)
Deli x AVROS	2.82	3.73	32.27
Prince	1.69	2.77	63.90
Savegre	2.31	3.23	39.83
Sergio	1.76	2.66	51.14

¹ Los valores 'reales' de área foliar se obtuvieron con un medidor de área foliar LI-COR, modelo 3100;

² Estimado de la ecuación de Hardon (Hardon et al. 1969): $[m^2 = c (n * l * a)]$

Otros estudios anteriores también habían encontrado algunas discrepancias entre los valores reales de área foliar y los estimado a partir de la ecuación de Hardon; pero las diferencias no se consideraron importantes. Bulgarelli et al. (1998) habían encontrado en Deli x AVROS, una diferencia entre los valores 'reales' y estimados de solo 3.2 %; utilizando la metodología particular de su trabajo (no se utilizó un medidor electrónico).

En el caso de los clones compactos, este tipo de estudios no se había hecho anteriormente, ya que estos son genotipos relativamente recientes. Cuando se considera que estos clones compactos han heredado el carácter compacto de *E. oleifera*, no es realmente sorpresa que la ecuación de Hardon necesitara algunos ajustes para ser utilizada en ellos. La ecuación puede ser entonces corregida introduciendo nuevos coeficientes de corrección y así obtener nuevos estimados de área foliar para estos materiales (Cuadro 3).

Cuadro 3. Factores de corrección nuevos (valores de 'c' en la ecuación de Hardon et al. (1969)¹ para estimar el área foliar en una variedad de semilla (Deli x AVROS) y tres clones compactos

Material	Factor de corrección
Deli x AVROS	0.42
Savegre	0.33
Prince	0.39
Sergio	0.36
Mean ²	0.37

¹ El factor promedio de corrección se calculó a partir de las ecuaciones individuales para la variedad de semilla y los tres clones

² [Area foliar, m²= c (n * l * a)]

Al introducir nuevos factores de corrección se reducen grandemente las diferencias entre los valores 'reales' de área foliar y los estimados. Para la variedad Deli x AVROS, tal diferencia fue de solo 2%, y para los tres clones compactos se obtuvo una ligera subestimación del valor 'real' (Cuadro 4).

En un intento para simplificar las cosas, se trató de utilizar el nuevo factor de corrección determinado para Deli x AVROS, para estimar el área foliar de los clones; pero esto resultó en una sobrestimación muy alta del valor de área foliar (hasta 26% en Sergio) (Cuadro 5).

Cuadro 4. Área foliar de la variedad de semilla (Deli x AVROS) y tres clones compactos de palma aceitera

Material	Área foliar ¹ real	Área foliar ² estimada	Área foliar ³ estimada
Deli x AVROS	2.82	3.73	2.85
Prince	1.69	2.77	1.66
Savegre	2.31	3.23	2.29
Sergio	1.76	2.66	1.74

¹ Valores 'reales' de área foliar obtenidos con un medidor electrónico de área foliar, LI-COR, modelo 3100

² Hardon et al. (1969): (Área foliar, $m^2 = c (n * l * a)$ sin corregir

³ Hardon et al. (1969), corregido con los nuevos factores de corrección, 'c' calculada con los valores de área foliar real para cada genotipo

Cuadro 5. Estimados del área de la hoja (m^2) para una variedad de semilla (Deli x AVROS) y tres clones compactos de palma aceitera, utilizando un factor de corrección para la ecuación de Hardon calculado inicialmente para la variedad de semilla

Material	Área foliar ¹ real	Área foliar ² estimada	Área foliar ³ estimada
Deli x AVROS	2.82	3.73	2.85
Savegre	2.31	3.23	2.03
Prince	1.69	2.77	2.46
Sergio	1.76	2.66	2.13

¹ Valores de area foliar reales obtenidos con un medidor electronico LI-COR modelo 3100

² Estimados a partir de la ecuación de Hardon (1969): (Area foliar, $m^2 = c (n * l * a)$)

³ Estimados usando un nuevo factor de corrección para Deli x AVROS

Estimados del peso seco de la hoja

La ecuación en Corley et al. (1971) se refiere aquí como la 'ecuación estándar', y es normalmente utilizada en palmas mayores a dos años de edad (Corley 2003). Esta ecuación estimó razonablemente bien el peso seco de la hoja en los clones compactos (Cuadro 6, tercera columna). Sin embargo, la ecuación no fue adecuada en la variedad Deli x AVROS; lo cual también fue inesperado, ya que tal ecuación se desarrolló para una variedad '*guineensis*', las cuales son más vigorosas que un clon compacto.

Cuadro 6. Peso secos reales y estimados de la hoja (kg) en una variedad de semilla (Deli x AVROS) y tres clones compactos de palma aceitera

Material	Peso seco real (kg)	Peso seco estimado (kg) ¹	Nuevo peso seco estimado (kg) ²	S ³
Deli x AVROS	1.16	0.90	1.16	0.08
Savegre	0.73	0.73	0.73	0.09
Prince	0.62	0.67	0.62	0.04
Sergio	0.81	0.78	0.80	0.04

¹ Ecuación estándar (kg = 0.102 PxS + 0.206)

² De la ecuación corregida usando los nuevos factores de corrección calculados a partir del peso seco real de la hoja

³ Desviación estándar del peso seco real, n=15

Los pesos secos 'reales' determinados en una balanza electrónicas (Cuadro 6) se usaron para calcular los nuevos factores de corrección para la ecuación de Corley, y obtener mejores estimados del peso seco de la hoja (a partir del valor PxS) en la variedad de semilla y en los clones compactos (Fig. 3, Cuadro 7).

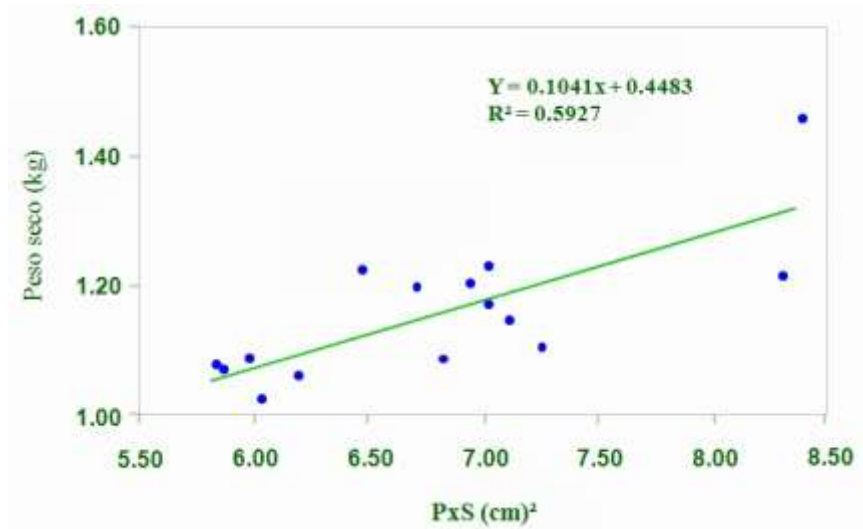


Fig. 3. Relación entre el valor de la sección transversal del peciolo (PxS) y el peso seco de la hoja en la variedad de semilla Deli x AVROS

Cuadro 7. Ecuaciones corregidas para estimar el peso seco de la hoja a partir de la sección transversal del peciolo, PxS

Material	Equación	R ²
Deli x AVROS standard ¹	$W = 0.102 PxS + 0.206$	
Deli x AVROS new ²	$W = 0.1041 PxS + 0.4483$	0.59
Sergio ²	$W = 0.0784 PxS + 0.2439$	0.24
Savegre ²	$W = 0.0831 PxS + 0.3766$	0.77
Prince ²	$W = 0.0813 PxS + 0.2489$	0.69

¹ Corley and Tinker (2003)

² Equations corrected with new coefficients obtained from true leaf weight values

Para Deli x AVROS, la ecuación estándar corregida fue adecuada para estimar el peso seco de la hoja, pero esta ecuación no es apropiada para los clones, ya que puede sobreestimar el valor real hasta en 25% (Cuadro 8). Para estos clones, entonces, se podría utilizar la ecuación estándar original (Corley y Tinker, 2003), o mejor aún, una nueva ecuación corregida. En la figura tres se ofrece un ejemplo de la dispersión de los datos alrededor la curva de mejor ajuste para Deli x AVROS.

Cuadro 8. Estimados del peso seco de la hoja en tres clones compactos de palma aceitera utilizando una ecuación desarrollada a partir del peso seco real de la hoja en una variedad de semilla, Deli x AVROS

Material	Peso seco real	Peso seco ¹ estimado	Peso seco ² estimado	Diferencia (%)
Savegre	0.73	0.73	0.92	18
Prince	0.62	0.67	1.03	25
Sergio	0.81	0.78	0.92	25

¹ Estimados a partir de la ecuación estándar ($kg = 0.102 PxS + 0.206$)

² Estimado a partir de una 'nueva' ecuación desarrollada para Deli x AVROS, $kg = 0.1041 PxS + 0.4483$

Arquitectura de la hoja e interceptación de luz

Los clones compactos son bastante diferentes a la variedad de semilla Deli x AVROS en sus características vegetativas. La variedad de semilla crece más rápidamente y en forma más vigorosa. Las hojas fueron particularmente más largas en la variedad de semilla (peciolos y raquis más largos) (Cuadro 9). El hábito de crecimiento de estas hojas también se puede describir como más erecto que en los clones compactos estudiados (Fig. 4).

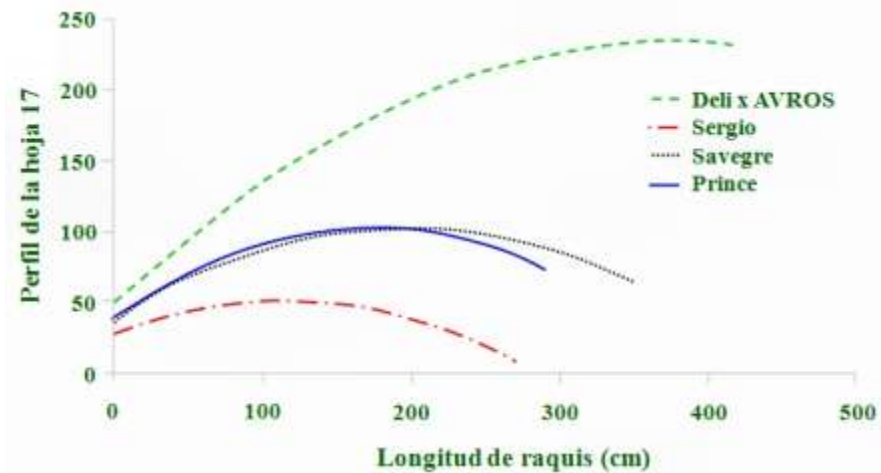


Fig. 4. Perfil (curvatura) lateral y longitudinal de la hoja No. 17 en un cruce de semilla (*Deli x AVROS*) y tres clones compactos de palma aceitera

Si se considera que el área foliar es menor en los clones compactos, se podría inferir que estos tienen una limitación desde el punto de vista de área fotosintéticamente activa con respecto a la variedad de semilla. No obstante, esto no siempre parece ser el caso, puesto que se ha observado que la carga de racimos inicial en algunos de estos clones compactos es al menos similar a la de variedades comerciales de semilla (Alvarado et al. 2006, Escobar et al. 2007). Este comportamiento podría indicar que la eficiencia fotosintética por unidad de área foliar debe ser mayor en estos clones compactos sobresalientes (índice de racimos superior a *Deli x AVROS*).

Cuadro 9. Crecimiento vegetativo (hoja 17) en una variedad de semilla, *Deli x AVROS* y tres clones compactos de palma aceitera

Material	Largo de hoja (m)		Peso seco de la hoja (kg)	PxS	Diámetro del dosel (m)
	Pecíolo	Raquis			
<i>Deli x AVROS</i>	0.96	3.15	1.16	6.79	7.30
Savegre	0.76	2.70	1.16	4.50	6.60
Prince	0.67	2.17	0.73	4.50	5.40
Sergio	0.48	2.16	0.62	5.60	4.90

¹ Peso seco real de la hoja

Los clones Sergio y Prince presentaron un dosel (perfil de la hoja o curvatura de la hoja) más abierto que el clon Savegre (el cual es más similar al tipo '*guineensis*'). El ángulo de inserción de las hojas en Savegre fue más agudo (Fig. 4).

La interceptación de luz fotosintéticamente activa (RFA_{in}) se midió en cuatro porciones a lo largo de la hoja 17, y se determinó que era mayor en los tres clones compactos con respecto a

Deli x AVROS, excepto para la porción de la hoja más próxima al tallo (Fig. 5). Para los tres clones, la interceptación de luz fue mayor hacia la punta de la hoja 17. No obstante, queda por determinar si este comportamiento también es cierto para el resto de las hojas del dosel, y de ser así, se podría conjeturar que los clones compactos podrían presentar una mayor eficiencia para transformar asimilados en racimos (y aceite), a pesar de tener área foliar menor.

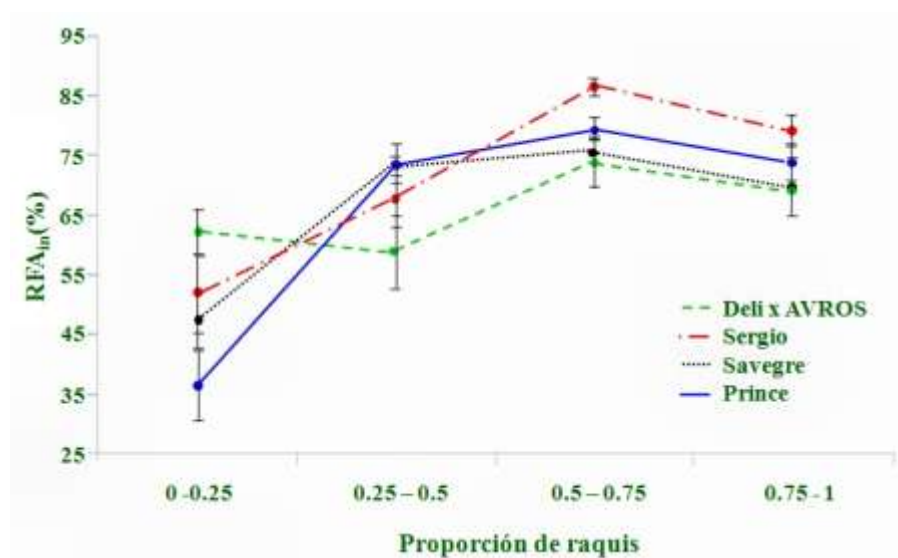


Fig. 5. Radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAin) en cada uno de cuatro segmentos de igual longitud a lo largo del raquis de la hoja 17, a partir de su base, en un cruce de semilla (Deli x AVROS) y tres clones compactos de palma aceitera

El clon Sergio mostró una mayor captura de RFAin promedio en todas las secciones de la hoja, excepto la segunda. Si se considera el valor promedio de RFAin (media de las cuatro secciones de la hoja, Fig. 6), los clones Sergio y Prince se podrían considerar como los más eficientes desde el punta de vista fotosintético.

El valor más alto de RFAin se determinó hacia la mitad de la hoja, lo cual podría indicar que existe un límite al número de plantas que pueden ser sembradas por unidad de área, sin afectar en forma negativa el potencial de rendimiento debido a competencia por luz; lo cual es válido también para los materiales compactos.

El arreglo de los folíolos en el espacio con respecto al plano del raquis fue diferente a lo largo de las secciones del raquis dentro de un mismo material genético y entre ellos. Sin embargo, las diferencias más grandes fueron encontradas en el clon Prince, en donde una mayor proporción de los folíolos tenían un ángulo muy abierto con respecto al plano del raquis (Figs. 7 y 8).

El arreglo de los folíolos a lo largo del raquis fue bastante diferente entre la variedad de semilla 'guineensis' y dos de los clones compactos (Prince y Sergio). En estos clones, el arreglo de los folíolos en el espacio se asemejaba al observado en *E. oleifera*. Las diferencias en curvatura del raquis y la orientación de los folíolos a lo largo del raquis, podrían ser características importantes que determinan la habilidad del dosel para capturar luz en algunos clones compactos.

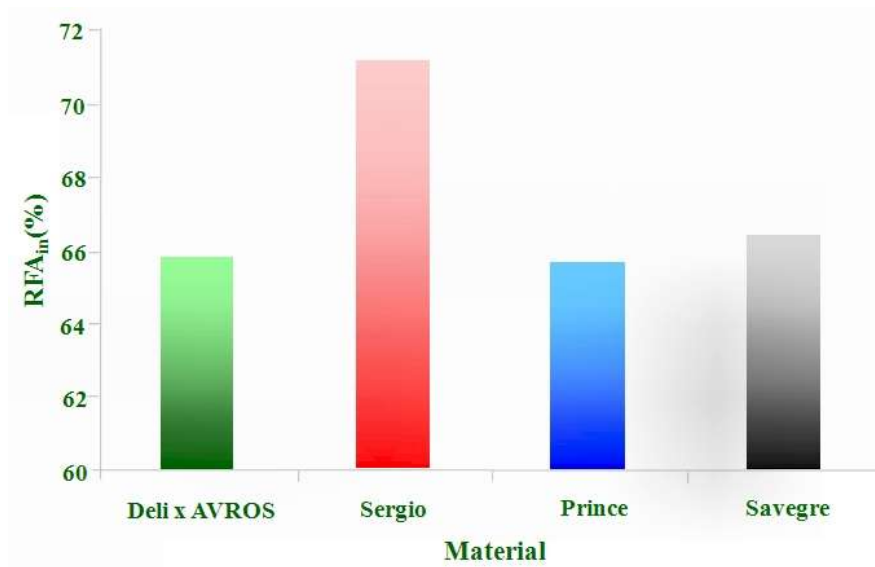


Fig. 6. Radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFA_{in}) promedio a lo largo del raquis de la hoja 17 en un cruce de semilla Deli x AVROS y tres clones compactos de palma aceitera

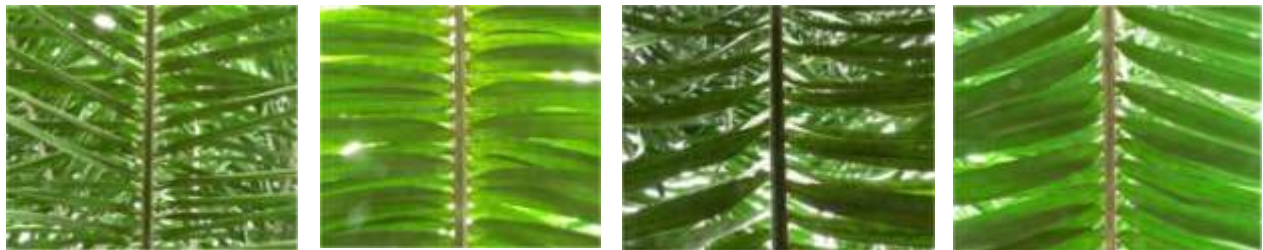


Fig. 7. Arreglo especial de los foliolos a lo largo de la sección central del raquis de la hoja No. 17 en la variedad de semilla Deli x AVROS (izquierda) y de tres clones compactos de palma aceitera (de izquierda a derecha: Prince, Savegre y Sergio)

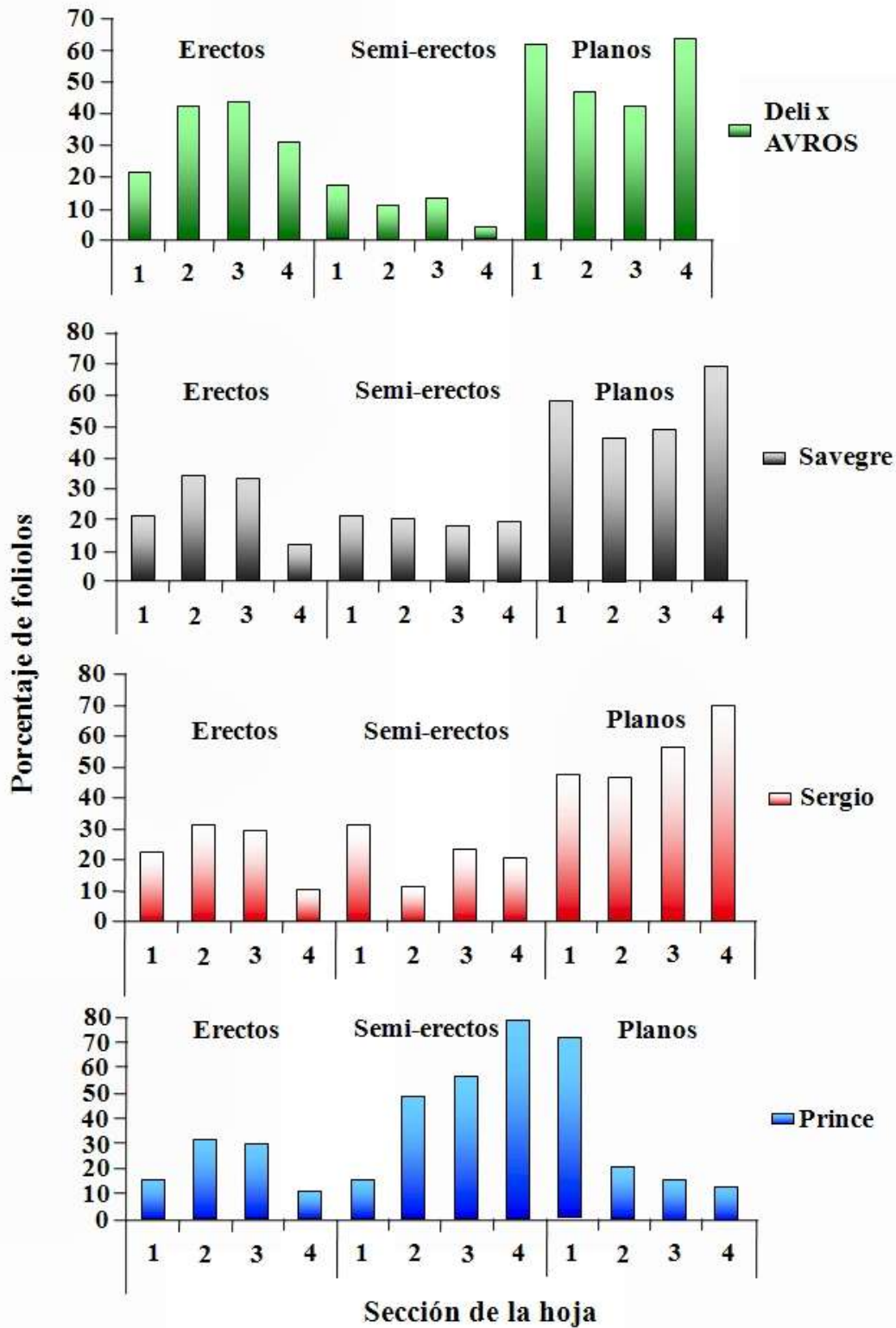


Fig. 8. Distribución (orientación) de los foliolos con respecto al plano del raquis en cuatro secciones a lo largo de la hoja número 17 en un cruce de semilla Deli x AVROS y tres clones compactos de palma aceitera

Conclusiones y recomendaciones

Estimados del área foliar y del peso seco foliar

No fue posible obtener buenos estimados del área foliar (hoja 17) ajustando los datos de campo (largo y ancho de una muestra de foliolos) con la ecuación de Hardon et al. 1969. Para la variedad de semilla '*guineensis*' Deli x AVROS, esta ecuación sobreestimó los valores 'reales' de área foliar hasta en 33 %. Para los clones compactos, la sobreestimación fue aún mayor (hasta 65%). Debido a lo anterior, es aconsejable corregir la ecuación con nuevas constantes que se calcularon a partir de los valores 'reales' de área foliar para cada material genético:

$$\text{Deli x AVROS: } m^2 = 0.42 (n * l * a)$$

$$\text{Sergio: } m^2 = 0.36 (n * l * a)$$

$$\text{Prince: } m^2 = 0.39 (n * l * a)$$

$$\text{Savegre: } m^2 = 0.33 (n * l * a)$$

Donde:

c = factor de corrección

n = número de foliolos/hoja

l y *a* = largo y ancho de los foliolos

Los estimados del peso seco de la hoja usando la ecuación de Corley ($W = 0.102 PxS + 0.206$; donde, *W* es el peso seco, y *PxS* es la sección transversal del peciolo), dio buenos estimados en los tres clones, pero no así para la variedad Deli x AVROS. No obstante, los estimados para los clones pueden ser mejorados si se introduce en la ecuación original nuevas constantes, obtenidas a partir de los pesos secos 'reales', a saber:

$$\text{Deli x AVROS: } W = 0.1041 PxS + 0.4483$$

$$\text{Sergio: } W = 0.0784 PxS + 0.2439$$

$$\text{Prince: } W = 0.0813 PxS + 0.2489$$

$$\text{Savegre: } W = 0.0831 PxS + 0.3766$$

Arquitectura de la hoja e interceptación de luz

La arquitectura de la hoja y el arreglo de los foliolos a lo largo del raquis podrían ser parámetros importantes para considerar durante la selección de genotipos promisorios. Debido a que en este estudio solo se determinaron estos parámetros en la hoja 17, es necesario corroborar los resultados en todas las hojas del dosel. Las tendencias encontradas también podrían cambiar con la edad de las plantas y con la densidad de siembra.

Las hojas con menos curvatura (menos erectas) parecen interceptar más luz. En otras especies, la tendencia ha sido diferente (Pepper 1977, Hirsch 1978, Duncan 1971, Smith 1991, Liu et al. 2003, Tech 2004). Sin embargo, y nuevamente se debe considerar que las mediciones se tomaron únicamente en la hoja 17 en la filotaxia, y que las tendencias podrían cambiar en otras hojas. Por

otro lado, otros parámetros también podrían ser importantes en este respecto, tales como la forma del foliolo, su número y el arreglo en el espacio.

Estos resultados fueron obtenidos en plantas de cierta edad y podrían cambiar en una población de plantas con diferentes arreglos de densidad y edad y deben ser verificados en lotes comerciales.

Referencias

- Alvarado, A., Escobar, R., Peralta, F., Chinchilla, C. 2006. Compact seeds and clones and their potential for high density planting. In. International seminar on yield potential in the oil palm. ISOPB. Thailand, November 2006.
- Alvarado, A.; Guzmán, N.; Escobar, R.; Peralta, F.; Chinchilla, C. 2006. Cloning program for oil palm compact varieties: realities and commercial potential. In. XV Conf. Internac. sobre palma de aceite, FEDEPALMA. Cartagena, Colombia, Septiembre 2006.
- Breure, C. J, Verdooren, L. 1995. Guidelines for testing and selecting parent palms in oil palm. Practical aspects and statistical methods. ASD Oil Palm Papers 9:1-68.
- Bulgarelli, J. 1998. Estimación del área de una hoja de palma aceitera. ASD de Costa Rica. Comunicación interna. 4 p.
- Chinchilla, C. 2007. Experiencias y estrategias de Costa Rica en el manejo de la PC y mejoramiento genético para la obtención de nuevas variedades. Taller sobre pudrición del cogollo en Tumaco, Colombia. Octubre 2007. 12 p.
- Corley, R.; Tinker, P.B. 2003. The Oil Palm. 4 ed. Great Britain, Blackwell Science Ltd. 562 p.
- Corley, R.H.V.; Hardon, J.J.; Tan, G.Y. 1971. Analysis of growth of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Euphytica 20:307-315
- Corley, R.H.V.; Gray, B.S.; Ng, S.K. 1971. Productivity of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Malaysia. Experimental Agriculture, 7, 129-136.
- Duncan, W. G.; Loomis, R.S.; Williams, W.A.; Hanau, R. 1967. A model for simulating photosynthesis in plant communities. Hilgardia 38:181-205
- Escobar, R.; Alvarado, A., Chinchilla, C 2007. Estrategias para la Producción Comercial de Semillas y Clones de Palma de Aceite Compactas. International Palm Oil Congress PIPOC, Malaysian. Kuala Lumpur
- Hardon, J.; Williams, C.; Watson, I. 1969. Leaf area and yield in the oil palm in Malaya. Expl. Agric. 5:25-32

- Hirsch, P. 1978. Angle de divergence des feuilles du palmier á huile: Mesure et consequences possibles. *Oleagineux*, 33(3): 109-112
- Liu, L.X.; Xu, S.M.; Woo, K.C. 2003. Influence of leaf angle on photosynthesis and the xanthophyll cycle in the tropical tree species *Acacia crassicarpa*. *Tree Physiol.* 23(18): 1255-61
- Pepper, .E. 1977. Leaf orientation and yield of maize. *Crop Science.* 17: 883-886
- Smith, B. 1991. Oil palm breeding: the potential for using physiological selection criteria. Unilever Plantations. PORIM Intl. Palm Oil Conference-Agriculture. 57-62 pp.
- Teh, C. 2004. The effect of leaf shape on the interception of solar radiation. 15th. Malaysian Society of Plant Physiology Conference, and the AGRI Congress 2004. 24 pp.