ISSN 1019-1100 NUMBER 42, 2014

ASD OIL PALM PAPERS

A 17 years old OxG Amazon palm.

HIGH YIELDING ASD Costa Rica OIL PALM SEEDS AND CLONES

"ASD OIL PALM PAPERS"
IS A BIANNUAL PUBLICATION OF
ASD COSTA RICA
(Agricultural Services and Development)

Number 42 **2014**

EDITOR: Carlos Chinchilla
EDITORIAL BOARD: Amancio Alvarado, Emmanuel Araya,
Francisco Peralta, Ricardo Escobar.

MAILING ADDRESS

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

CONTENT

1. *Respuesta fisiológica de la palma aceitera (Elaeis guineensis jacq.) a la disponibilidad de agua en el suelo en condiciones de campo en Tumaco, Colombia*
11. Physiological response of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) to soil water availability under field conditions in Tumaco, Colombia
    Rafael Reyes, Néstor Riaño, Carlos Chinchilla, Norbey Ibarra.
21. *La tolerancia al estrés abiótico, las pudriciones del cogollo (PC) y la marchitez por fusarium en palma aceitera (Elaeis guineensis) están relacionadas*
27. Tolerance to abiotic stress, spear rot (PC) and *fusarium* wilt in oil palm (*Elaeis guineensis*) are related
    Amancio Alvarado, Carlos Chinchilla, Hector Albertazzi.
33. *Rendimiento y crecimiento de plantas jóvenes de palma aceitera en diferentes estados de severidad y recuperación de pudriciones del cogollo*
38. Yield and growth of young oil palm plants in different states of severity and recovery from spear rots
    Floria Ramírez, Randall Torres, Carlos Chinchilla.

Cover page

Palma de híbrido OxG Amazon de 17 años de edad.
A 17 years old OxG Amazon palm.

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

Respuesta fisiológica de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* jacq.) a la disponibilidad de agua en el suelo en condiciones de campo en Tumaco, Colombia

Rafael Reyes[1], Néstor Riaño[2], Carlos Chinchilla[3], Norbey Ibarra[4]

Resumen

Se estudió el comportamiento fisiológico de cuatro variedades de palma aceitera (Tanzania x Ekona, Deli x Yangambi Costa Rica, Deli x AVROS y Deli x Yangambi Colombia), sometidas a diferentes condiciones de oferta hídrica en el campo, en dos suelos con diferente capacidad de retención de humedad: uno franco arcillo limoso de la serie Pital (PT) y el otro arenoso franco de la serie Piragua (PR); en los cuales se cultiva palma aceitera en Tumaco (Nariño, Colombia). Las palmas fueron sembradas (143 palmas/ha), en cada suelo, siguiendo un diseño de parcelas divididas con cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en mantener cuatro condiciones de humedad del suelo: oferta limitada de agua, exceso hídrico, un testigo relativo y un testigo absoluto. Estos tratamientos se iniciaron cuando las palmas tenían 22 meses de edad y se mantuvieron durante dos meses. Se midió el potencial hídrico del suelo (ψ_s), el potencial hídrico de la hoja (ψ_h) y el intercambio de gases.

La fotosíntesis neta (*Fn*) fue diferente en las cuatro variedades de palma según la textura del suelo y su contenido de humedad. En el suelo PT la magnitud de la *Fn* varió dependiendo de la combinación genotipo y contenido de humedad del suelo y en el suelo PR solo de acuerdo con el contenido de humedad del suelo. Por consiguiente, se infirió que en el suelo PT cada variedad requería de un contenido de humedad particular en el suelo para poder expresar su mayor *Fn*. En el suelo PR las variedades expresaron la mayor *Fn* a un contenido similar de humedad del suelo, que correspondió a la condición de una oferta limitada de agua. La *Fn* diaria presentó mayor frecuencia de valores bajos (<15 $\mu molCO_2 m^{-2} s^{-1}$); lo cual se debió posiblemente a la ocurrencia de baja radiación fotosintéticamente activa (RFA) y altos valores de déficit de presión de vapor de agua en el aire (DPV) durante algunas horas del día. Se concluye que en estudios de palma aceitera joven en el campo, relacionados con la disponibilidad de agua en el suelo, la respuesta de las palmas se puede estimar midiendo el ψ_h, la *Fn* y la transpiración (*T*); y que la metodología utilizada en este estudio fue adecuada. Los resultados también permiten concluir que la humedad del suelo fue determinante para la actividad fotosintética y la producción biológica de la palma aceitera; lo cual debe tomarse en cuenta para revisar prácticas tradicionales de manejo del agua del suelo que podrían ser contraproducentes para la producción y la sanidad de este cultivo en la región.

Palabras clave: *Elaeis guineensis*, fisiología, relaciones hídricas

[1] I. Agron. Investigador Ph. D., CORPOICA, Colombia, rreyes@corpoica.org.co
[2] I. Agron. Ph. D. Investigador coordinador fisiología vegetal, CENICAFE, Colombia, nestorm.riano@cafedecolombia.com
[3] Consultor para ASD Costa Rica, cmlchinchilla@gmail.com
[4] I. Agron. Investigador, CORPOICA, Colombia, lnibarra@gmail.com

Introducción

La palma aceitera es muy sensible a cambios en la humedad del suelo y tanto su rendimiento de fruta como su sanidad son afectados negativamente por el exceso y el déficit. Los efectos negativos del déficit hídrico han sido bastante estudiados (Kallarackal et al. 2004; Lee et al. 2005), pero no así el del exceso de humedad en el suelo. Esta situación plantea la necesidad de realizar estudios en palma aceitera relacionados con su respuesta fisiológica y productiva a condiciones cambiantes de humedad en el suelo.

En América tropical existe una condición sanitaria en la palma aceitera que está estrechamente relacionada con la afectación del sistema radical fino por exceso de humedad en el suelo. El caso de la llamada 'pudrición del cogollo' (PC) en la región de Tumaco en Colombia ha sido particularmente desastrosa y cerca de 30 mil hectáreas del cultivo fueron afectadas y abandonadas entre los años 2005 y 2011. La PC también está amenazando seriamente otras zonas productoras de palma aceitera en Colombia (Corredor et al. 2008, Fedepalma 2010).

La PC tiene sin duda una etiología compleja, en donde los factores ambientales tienen un gran peso sobre la incidencia y severidad y parecen determinar la oportunidad que tienen varios organismos de agravar los síntomas e incluso causar la muerte de las plantas afectadas (Albertazzi et al. 2005 y 2009, Boari 2008, Venturieri et al. 2009, Chinchilla 2008, 2010). Adicionalmente, existen experiencias en varios países que indican una relación entre tolerancia a la PC y la tolerancia a estrés abiótico de algunas variedades derivadas de materiales colectados en Tanzania (Kigoma) y Camerún (Bamenda y Ekona) (Alvarado y Sterling 2005, Chinchilla et al. 2007).

La región de Tumaco en Colombia presenta periodos de déficit y exceso de humedad en el suelo, los cuales son amplificados por la ocurrencia de los fenómenos oceánicos del Niño y la Niña, que han aumentado en periodicidad y magnitud. Esas oscilaciones climáticas extremas ocasionan efectos acumulados sobre el crecimiento y producción de los cultivos, habiéndose identificado para la palma aceitera relaciones de causalidad dentro de los tres años siguientes a su ocurrencia (Cadena et al. 2004). En el futuro se espera para la región de Tumaco un aumento de la temperatura media del aire de un grado centígrado, una reducción de la humedad relativa del aire de casi 2%, una reducción de la precipitación mayor a 10% y variaciones en su distribución espacio-temporal (IDEAM 2008).

Todos estos cambios y su impacto sobre la humedad en el suelo según sus condiciones físicas y la respuesta fisiológica de la planta, justifican la realización de estudios que permitan anticiparse a efectos negativos sobre el rendimiento y la sanidad del cultivo. El objetivo de esta investigación fue conocer el efecto de la disponibilidad del agua en el suelo en las condiciones naturales de campo en la zona de Tumaco, sobre la fisiología de cuatro genotipos de palma aceitera.

Materiales y Métodos

Área de estudio y material experimental

La investigación se realizó entre agosto de 2006 y diciembre de 2008, en condiciones de campo, en la Estación Experimental El Mira, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), ubicada en la región sur de la costa pacífica de Colombia, Municipio de Tumaco, Departamento de Nariño a 16 msnm (1°32'58" N, 78°41'21" W). La región presenta condiciones de bosque húmedo tropical (bh-T) según la clasificación de Holdridge (1967), con precipitación acumulada de 3.067 mm/año, temperatura media promedio anual de 25,5ºC, humedad relativa promedio anual de 88%, evapotranspiración potencial de 1.023 mm/año, brillo solar acumulado anual de 1.008 horas y radiación acumulada anual de 15.080 J/cm^2 (IDEAM 2009).

Experiencias previas de campo indican que las variedades de palma aceitera utilizadas podrían presentar diferente respuesta al déficit hídrico y a la incidencia de disturbios tipo pudrición de cogollo (Alvarado y Sterling 2005, Chinchilla et al. 2007).

Las plantas se sembraron en parcelas de una hectárea en dos tipos de suelo: serie Pital, *Vitrandic eutrudepts* (PT), franco arcillo limoso, con buena retención de humedad y pobremente drenado, en una área previamente ocupada por ganado de pastoreo, y serie Piragua (PR), *Andic dystrudepts*, arenoso franco, con baja capacidad de retención de humedad y bien drenado (IGAC 2004). Se recolectaron muestras compuestas de cada uno de los suelos (primeros 60 cm del perfil) y se determinaron las características físicas (textura: Bouyucos) y curvas de retención de humedad (ollas de presión a succiones de 0,03; 0,15; 1,0 y 1,5 MPa).

Las palmas se sembraron en las esquinas de triángulos equiláteros de nueve metros de lado (143 palmas/ha), y se les dio un mantenimiento agronómico estándar para la zona, incluyendo el establecimiento de una cobertura de Kudzu (*Pueraria phaseoloides*), limpieza del 'plato' o círculo y la fertilización. Cuando las plantas cumplieron 22 meses de edad se aplicaron los tratamientos, los cuales consistieron de cuatro contenidos de humedad del suelo que se trató de mantener durante dos meses: el primer tratamiento consistió de una oferta limitada de agua, el segundo intentó crear un exceso de agua en el suelo, el tercero fue un testigo relativo y el cuarto fue un testigo absoluto (Cuadro 1). Se establecieron 16 parcelas experimentales con cuatro palmas cada una (una por variedad). El tamaño de las parcelas fue de 7,8 m de ancho y 36 m de largo (280,8 m^2/parcela).

Para reducir la entrada del agua de lluvia en las parcelas debido al movimiento lateral dentro del perfil del suelo se construyeron zanjas a su alrededor (1,0 m de profundidad y 0,5 m de ancho) separadas 3,9 m de la base de las plantas, en los tres primeros tratamientos. Las paredes y el fondo de las zanjas se cubrieron con plástico negro calibre cuatro sostenido con estacas de madera y las zanjas se desaguaron en un canal de drenaje principal.

Detalles de los tratamientos

Oferta limitada de agua. La superficie del suelo de la parcela se cubrió con plástico transparente calibre cuatro, para intentar evitar el ingreso de agua por precipitación pluvial al sistema (Fig. 1). Las láminas plásticas se unieron con 'velcro' de tal manera que pudieran separarse para tener ingreso a las palmas y tomar las mediciones. Durante los periodos diurnos sin precipitación, la cubierta plástica se removió periódicamente para la aeración del suelo.

Cuadro 1. Valores máximos y mínimos del potencial hídricos del suelo (Ψs) en los cuatro tratamientos aplicados durante dos meses a plantas de cuatro variedades de palma aceitera en el campo en un suelo franco arcillo limoso (PT) y otro arenoso franco (PR). Tumaco, Colombia

Suelo	Tratamientos	Profundidad y Ψs					
		20 cm		40 cm		60 cm	
		Ψs (MPa)		Ψs (MPa)		Ψs (MPa)	
		Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
Serie Pital (SP)	Oferta limitada de agua	-0,070	-1,267	-0,030	-0,667	-0,030	-0,200
	Exceso de agua en el suelo	0,000	-0,080	0,000	-0,067	0,000	-0,010
	Testigo relativo	-0,080	-0,267	0,000	-0,133	0,000	-0,120
	Testigo absoluto	-0,070	-0,190				
Serie Piragua (PR)	Oferta limitada de agua	-0,120	-0,900	-0,060	-0,430	0,000	-0,120
	Exceso de agua	0,000	-0,060	0,000	-0,030	0,000	-0,013
	Testigo relativo	-0,040	-0,250	0,000	-0,180	0,000	-0,081
	Testigo absoluto	-0,025	-0,160				

Fig. 1. Vista de una de las parcelas de cuatro palmas con la superficie del suelo cubierta con plástico transparente. La parcela está rodeada de zanjas (0,5 m de ancho y 1.0 m de profundidad) cubiertas con plástico negro. Tratamiento con suministro limitado de agua.

Exceso de agua en el suelo. Se permitió la entrada de agua al sistema según la oferta de precipitación pluvial, del movimiento por capilaridad del agua freática y de la adición diaria de 900 litros de agua por parcela/día (3,20 mm/día); exceptuando los días con lluvia. El objetivo fue mantener la humedad volumétrica del suelo en valores superiores a la capacidad de campo (45%). Cada lote experimental tenía una unidad que bombeaba agua desde un pozo para llenar un reservorio de 5,000 litros de capacidad.

Testigo relativo. Fueron parcelas con zanjas periféricas de separación; pero en donde la entrada de agua al sistema dependió de la oferta de lluvia y del movimiento del agua freática por capilaridad.

Testigo absoluto. Parcelas sin zanjas periféricas de separación, en donde la entrada de agua al sistema dependió de la oferta de lluvia y del movimiento del agua freática por capilaridad.

Diseño experimental

En cada lote se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas, donde la parcela principal fue el tratamiento de humedad del suelo y la sub-parcela las cuatro variedades de palma, con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue cada palma. Los datos fueron sometidos a estadística descriptiva, análisis de varianza y análisis multivariado por componentes principales. Se obtuvo las funciones matemático–estadísticas que mejor describían el comportamiento de las variables de respuesta y sus relaciones; se utilizó los programas MS-Excel, SAS®Analytics Pro y Sigma Plot®11.

Variables de respuesta

Cada 20 días se midió el potencial hídrico del suelo a 20, 40 y 60 cm de profundidad en todas las parcelas, con excepción del testigo absoluto, donde solo se midió a 20 cm. Las mediciones fueron hechas con sensores psicrométricos para suelo PST-55-30-SF (Wescor Inc.), unidos a un microvoltímetro Wescor HRT-33 (Wescor 2006).

Al día siguiente, se midió el potencial hídrico foliar entre las 6:00 y 8:00 horas de la mañana (foliolos centrales de la hoja en posición nueve en la filotaxia), para lo cual se usó la cámara para tejido foliar L-51-SF (Wescor inc.), unida al microvoltímetro Wescor HRT-33 (Wescor 2006a).

Adicionalmente se midió el intercambio de gases (fotosíntesis neta y transpiración: LI-6200, Licor, Nebraska, USA) en los foliolos centrales de la hoja nueve entre las 8:00 y las 17:00 horas, con una hora de intervalo. No obstante, se puso énfasis en la determinación de la actividad fotosintética entre las 09:00 y 11:00 horas[5], pues previamente se había determinado una mayor actividad en ese periodo. Además de las mediciones diarias de intercambio gaseoso se determinaron la radiación fotosintéticamente activa, la temperatura de la hoja, la humedad relativa, el déficit de presión de vapor del agua en el aire y la concentración de CO_2 en el aire.

En la cercanía de los lotes experimentales se instaló una estación automatizada (µMETOS®sm), para obtener registros de la temperatura, la humedad relativa y la precipitación en la zona. Mediante pozos de observación de 2,0 m de profundidad se registró durante seis días por semana el nivel freático en cada lote experimental.

Condiciones climáticas durante la fase experimental

Durante un periodo de siete meses anterior a la aplicación de los tratamientos, la temperatura máxima registrada fue de 33,0 ºC, la mínima de 21,1 grados y la media de 26,1 ºC. La precipitación acumulada fue de 1725 mm, con un promedio semanal de 56,2 mm. La humedad relativa promedio fue de 90,5%, con valores entre 85,0% y 99,4%. Durante los dos meses de aplicación de los tratamientos, la precipitación promedio fue 53,7 mm/semana (230 mm/mes); y el comportamiento del nivel freático fue fluctuante en los lotes con los dos tipos de suelo: 25,5 cm - 72,0 cm para el suelo franco arcillo limoso y entre 30,0 cm y 103,0 cm para el suelo arenoso franco, lo cual indica que hubo una abundante oferta hídrica natural en ambos lotes.

Resultados y Discusión

Variables climáticas en los lotes experimentales

El microclima dentro de las parcelas varió ampliamente a través del día y entre días. La radiación fotosintéticamente activa (RFA) diaria fluctuó entre 12 y 2.600 µmol fotones m^2s^{-1}. La mayor frecuencia horaria diaria (%) estuvo en un ámbito entre 12 y 400 µmol fotones m^2s^{-1}(55, 5%). Valores superiores de 401 a 1.200 µmol fotones $m^2 s^{-1}$ conformaron 39,7% y solo 4.8% estuvieron entre 1.201 y 2.600 µmol fotones m^2s^{-1}. Esto indica que en la región de estudio se presentan durante el día condiciones de muy baja oferta energética (RFA), con lo cual se limita la actividad fotosintética de la palma

[5] Determinación realizada por el autor en fase previa a la ejecución de esta investigación, mediante estudio de la curva diaria de asimilación de CO_2 de la especie.

aceitera, planta en la que se alcanza la saturación lumínica entre 400 y 1.150 µmol fotones $m^{-2} s^{-1}$ de RFA (Henson 1993, Corley y Tinker 2003, Noor et al. 2005).

El déficit de presión de vapor de agua en el aire (DPV) fue mayor que 1,7 KPa entre las 10:00 y 11:00 horas y entre las 13:00 y 14:00 horas; lo cual está por encima del ámbito considerado adecuado para la actividad fotosintética de la palma aceitera (0,5 - 1,7 KPa) (Dufrene y Saugier 1993, Henson et al. 2005). No obstante, existen clones con sensibilidad diferencial en su actividad fotosintética a altos valores de DPV (Lamade and Setiyo 1996, Breure 2003).

La humedad relativa promedio fue de 65%, con valores máximos cercanos a 85% en horas de la mañana. La temperatura foliar diaria varió entre 25,5 y 35,0 ºC, y los valores más altos se registraron a las 11:00 y 13:00 horas del día, lo cual implica que la temperatura foliar no fue una limitación para la actividad fotosintética (Dufrene y Saugier 1993, Breure 2003, Corley y Tinker 2003).

La concentración atmosférica de CO_2 se mantuvo por encima de 360 ppm y una alta proporción de los valores fueron cercanos a 420 ppm; los cuales son superiores a la concentración promedio global (agosto 2011, 390 ppm). Por ser una especie C3, la palma aceitera aumenta su fotosíntesis neta cuando el aire se enriquece con CO_2, con lo cual pueden aumentar el crecimiento y el rendimiento de fruta (Jaafar and Ibrahim 2012, Ibrahim et al. 2010).

Potencial hídrico del suelo (ψ_s) y de la hoja (ψ_h)

El ψ_s varió entre lotes a través del tiempo, pero fue posible mantener una correspondencia cercana a lo esperado según los tratamientos propuestos (Cuadro 1). El ψ_h cambió con la variedad de palma y en el tiempo, según el tipo de suelo y su contenido de humedad. Los valores de ψ_h observados (entre -0,03 y -0,20 MPa) se encuentran dentro del ámbito normal determinado para la palma aceitera (Kallarackal et al. 2004).

En todos los tratamientos, la variedad Deli x Yangambi presentó hidratación foliar decreciente en el tiempo. Para el genotipo mejorado en Colombia el mayor valor de ψ_h se obtuvo en el suelo franco arcillo limoso en las parcelas del testigo absoluto (sin restricciones para la entrada de agua al sistema) y con suministro limitado de agua (Cuadro 1). En el caso de la variedad Deli x Yangambi mejorada en Costa Rica, los valores más altos de ψ_h se registraron en el suelo arenoso franco en la parcela en condiciones de alta humedad.

Los resultados indican diferencias entre genotipos (incluso dentro de una misma variedad) en su capacidad de mantener una hidratación foliar (ψ_h) determinada según la disponibilidad de agua en el suelo, lo cual también se relaciona con sus características físicas (Villalobos et al. 1992, Kallarackal et al. 2004, Alvarado y Sterling 2005).

Comportamiento diario y en el tiempo de la fotosíntesis neta (*Fn*)

La actividad fotosintética varió durante el día en cada genotipo dependiendo del tipo de suelo y su contenido de humedad (Fig. 2). Se observaron valores de *Fn* entre 1,0 y 24,0 $\mu molCO_2 m^{-2} s^{-1}$, con predominancia de aquellos inferiores a 15 $\mu molCO_2 m^{-2} s^{-1}$; no obstante, todos se encuentran dentro del ámbito ya determinado para la palma aceitera en diferentes edades (3,0-27,0 $\mu molCO_2 m^{-2} s^{-1}$) en zonas de África, Asia y América (Lamade et al., 2009, Noor et al. 2005).

La *Fn* en las palmas disminuyó a través del tiempo en ambos tipos de suelo y en todas las variedades. Los valores más altos se registraron en las palmas Deli x Yangambi de Costa Rica en el suelo franco arcillo limoso de las parcelas del testigo relativo (zanjas alrededor pero expuesta a la precipitación natural) y en las palmas Deli x AVROS en las parcelas con exceso de humedad en el suelo.

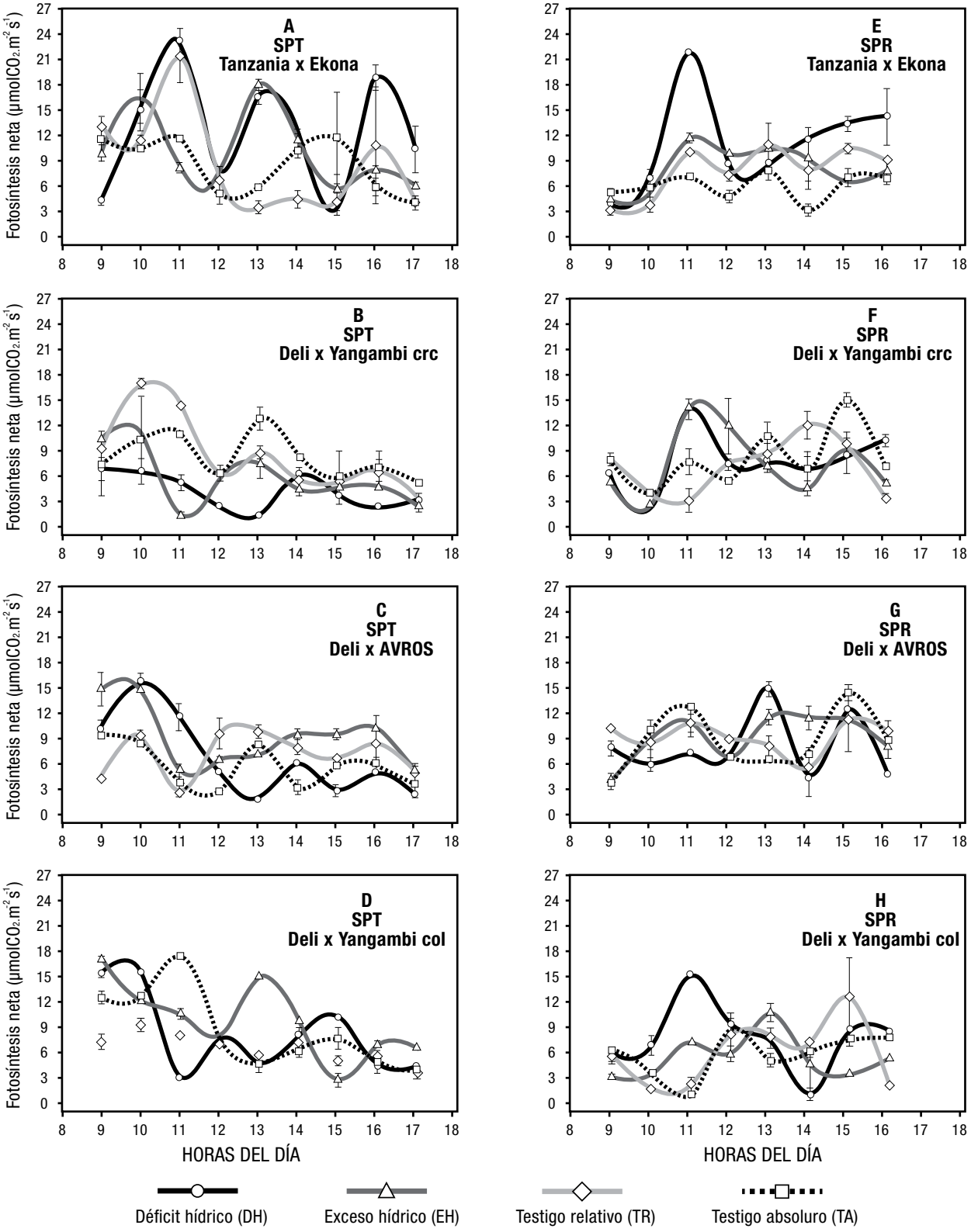

Fig. 2. Curso diario de la fotosíntesis neta en los días 96 (suelo franco arcillo limoso SPT: A-D) y 91 (lote suelo arenoso franco SPR: E-H) en palmas de cuatro variedades en suelos con diferentes contenidos de humedad. Tumaco, Colombia. La leyenda "Déficit hídrico" se refiere al tratamiento de oferta limitada de agua y el "Exceso hídrico" a exceso de agua en el suelo. (Cuadro 1)

En el suelo franco arcillo limoso, se observó una interacción (P < 0,01) entre el contenido de humedad del suelo y las variedades en la respuesta de la *Fn* (Fig. 3). La variedad Deli x Yangambi de Costa Rica presentó valores diferentes (P < 0,05) de *Fn* según el contenido de humedad del suelo. La *Fn* fue mayor en la parcela del testigo relativo (13,83 µmol$CO_2m^{-2}s^{1}$) y en la que tenía un suministro limitado de humedad (10,24 µmol$CO_2m^{-2}s^{1}$). La variedad Deli x Yangambi de Colombia, presentó mayores valores de la *Fn* en las parcelas con exceso de humedad en el suelo (11,76 µmol$CO_2m^{-2}s^{-1}$) y oferta hídrica limitada (10,95 µmol$CO_2m^{-2}s^{-1}$). En la variedad Tanzania x Ekona se registró el valor mayor de la *Fn* en la parcela con suministro limitado de agua (12,33 µmol$CO_2m^{-2}s^{-1}$)y en la Deli x AVROS en las condiciones de alta disponibilidad de agua. (15,17 µmol$CO_2m^{-2}s^{1}$) (Fig. 3). En el suelo arenoso franco la *Fn* varió dependiendo del contenido de humedad del suelo únicamente.

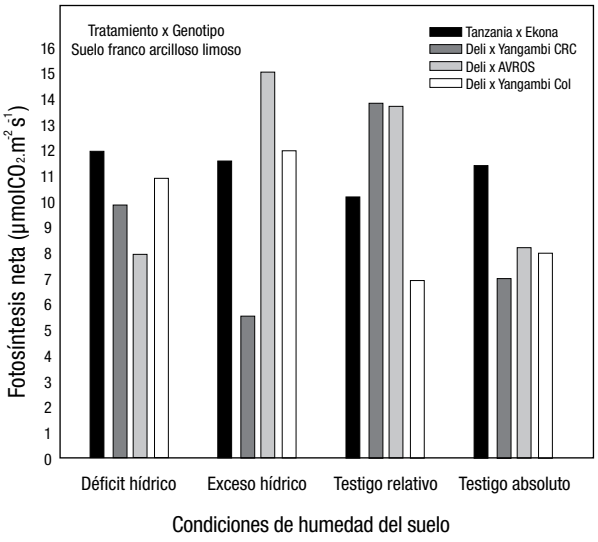

Fig. 3. Fotosíntesis neta (*Fn*) en cuatro variedades de palma aceitera. Interacción entre el contenido de humedad del suelo y la variedad en el suelo franco arcillo limoso. Tumaco, Colombia. La leyenda "Déficit hídrico" se refiere a la oferta limitada de agua. Otras leyendas según Cuadro 1.

En el suelo arenoso franco, el mayor valor de la Fn (12,82 µmol$CO_2m^{-2}s^{-1}$) se registró en las palmas con suministro limitado de agua, lo cual correspondió con valores de Ψ_s entre -0,12 y -0,9 MPa (20 cm), -0,06 y -0,43 MPa (40 cm) y 0,0001 y -0,12 MPa a 60 cm (Cuadros 1 y 2).

Cuadro 2. Fotosíntesis neta (*Fn*) en la hoja nueve de la filotaxia de las palmas en el suelo arenoso franco. Tumaco, Colombia

Contenidos de humedad en el suelo	Fotosíntesis neta (µmol$CO_2m^{-2}s^{-1}$)
Oferta limitada de agua	12,82 a
Exceso hídrico	11,52 b
Testigo absoluto	10,41 c
Testigo relativo	10,86 c

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente, Duncan (P > 0,05). Tratamientos según Cuadro 1.

La variedad Tanzania x Ekona con una oferta limitada de agua mostró durante el curso del día un valor de la *Fn* mayor con respecto a las otras variedades en ambos suelos (Fig. 2). El valor de la interacción genotipo por humedad del suelo fue también el mayor en esta variedad (Fig. 3). Por consiguiente, se infiere que esta variedad tiene la capacidad de reducir en mayor proporción su actividad fotosintética cuando las condiciones ambientales son desfavorables (Alvarado y Sterling 2005, Chinchilla et al. 2007). Los mecanismos de retroalimentación inhibitorios de la fotosíntesis y el cierre de los estomas son normales en palma aceitera y otras especies (Losch y Schulce 1995).

Es notorio que la actividad fotosintética de la palma aceitera joven presentó sensibilidad a las disminuciones de humedad del suelo aún dentro del ámbito en el que el agua es considerada como rápidamente utilizable por las plantas. Por consiguiente, la capacidad de campo para la especie (respecto a la humedad del suelo), puede estar en el ámbito de ψ_s entre -0,04 MPa y -0,25 MPa; como fue previamente encontrado en un experimento anterior en potes (Reyes et al. 2013).

Transpiración (*T*)

El curso diario de la *T* fue más variable en el suelo franco arcilloso (2-5 mmol$H_2Om^{-2}s^{-1}$) que en el suelo arenoso franco (2-3,5 mmol$H_2Om^{-2}s^{-1}$). Sin embargo, estos valores se encuentran dentro del ámbito de *T* encontrado para la palma aceitera (Foong 1999, Suresh y Nagamani 2006).

El comportamiento de la *T* a través del tiempo fue decreciente en los dos suelos y en las cuatro variedades. Todas las variedades presentaron un consumo similar de agua liberada por transpiración independientemente del tipo de suelo en que crecían.

Eficiencia en el uso del agua (*EUA = Fn/T*)

El curso diario de la *EUA* presentó valores entre 2,0 y 8,0 µmolCO_2/mmolH_20, los que se encuentran dentro del ámbito observado para la palma aceitera (Kallarackal et al. 2004, Noor et al. 2005). El comportamiento de la *EUA* a través del tiempo fue diferente entre genotipos y varió en función del tipo de suelo. En Deli x AVROS, los valores más altos se observaron en las parcelas con suministro limitado de agua; entre 5,8 y 6,0 µmolCO_2/mmolH_20) en el suelo franco arcillo limoso y 5,4 y 5,0 µmolCO_2/mmolH_20) en el arenoso franco. En la variedad Deli x Yangambi de Costa Rica, la *EUA* en los dos suelos estuvo entre 2,5 y 7,5 µmolCO_2/mmolH_20 en el tratamiento testigo relativo.

Características sensibles para diferenciar genotipos

El análisis multivariado permitió determinar que en palmas jóvenes, las variables que presentaron más capacidad discriminante para separar variedades según su respuesta a la disponibilidad de agua en el suelo fueron el ψ_h, la *Fn* y la *T*, lo cual concuerda con otros estudios similares (Martínez et al. 1999, Brito et al. 2006). No obstante, los valores de *Fn* predominantes en Tumaco (*Fn* < 15 µmol$CO_2m^{-2}s^{-1}$) son inferiores a los normalmente encontrados en otras regiones en África, Asia y América donde se cultiva la palma aceitera (3-27 µmol$CO_2m^2s^1$) (Lamade y Setiyo 1996, Noor et al. 2005, Lamade et al. 2009).

Los registros de campo de este estudio también concuerdan con los obtenidos en estudios de invernadero anteriores (Reyes et al. 2013), en donde también se determinó la ocurrencia durante el día, en la zona de Tumaco, la predominancia de valores bajos de oferta energética (*RFA*:12 - 400 µmol fotones m^2s^{-1}) y de brillo solar (promedio de 2,8 horas no continuas por día), acompañados de valores altos de *DPV* (mayores que 1.7 KPa), principalmente al medio día. Todas estas condiciones limitan la actividad fotosintética de la palma aceitera, cuya mayor magnitud fue asociada a valores de *RFA* de entre 400 y 1150 µmol fotones $m^{-2}s^{-1}$ y a un brillo solar mayor a cinco horas continuas por día (Henson 1993, Corley and Tinker 2003, Noor et al. 2005, Hanif 2006). Valores de *DPV* de entre 0,5 y 1,7 kPa corresponden al ámbito adecuado para la actividad fotosintética (Dufrene y Saugier 1993, Henson et al. 2005).

No obstante, en la región de Tumaco hay una oferta abundante de CO_2 (concentración atmosférica > 390 ppm), que puede contribuir al incremento de la eficiencia fotosintética de la palma, si el contenido de humedad del suelo (balance aeración-humedad) fuera apropiado para el proceso fotosintético (Jaafar y Ibrahim 2012, Ibrahim et al. 2010).

Dadas las variaciones climáticas en la región de Tumaco, es posible que en algunos años puedan obtenerse altas producciones (como el caso del periodo anterior al 2005), similares a los obtenidos en regiones de alta oferta energética. No obstante, el equilibrio puede fácilmente romperse (particularmente durante los llamados años de La Niña y el Niño) y varios factores ambientales combinarse desfavorablemente, creando condiciones muy desfavorables para la productividad y la sanidad del cultivo, particularmente cuando no se han tomado medidas agronómicas para mitigar los efectos negativos de estos cambios climáticos, tal como es el caso de mantener una aeración adecuada de los suelos.

Conclusiones y Recomendaciones

En los experimentos de campo fue evidente que la actividad fotosintética de la palma aceitera es sensible a la disminución de la disponibilidad de agua en el suelo, aún dentro del ámbito en que el agua es considerada como rápidamente utilizable por las plantas (ψ_s -0,03 MPa y -0,50 MPa); lo cual se considera de gran utilidad para la selección temprana de genotipos tolerantes a estrés hídrico.

La mejor actividad fotosintética ocurrió cuando los contenidos de humedad del suelo estaban en un ámbito dr ψ_s entre -0,04 MPa y -0,25 MPa en los primeros 60 cm del suelo. Por consiguiente, este sería el ámbito de referencia para la capacidad de campo para palmas jóvenes en la región de Tumaco. La variedad Tanzania x Ekona presentó una mayor actividad fotosintética durante el curso del día, por lo

cual se considera que presenta mayor tolerancia a una menor disponibilidad de agua en el suelo.

Fue notoria la ocurrencia frecuente de valores muy bajos de radiación fotosintéticamente activa y de déficit de presión de vapor de agua en el aire durante algunos periodos del día en la región de Tumaco; lo cual es una clara limitante para la actividad fotosintética de la palma aceitera.

Los resultados indican que la metodología utilizada en este trabajo fue adecuada para realizar evaluaciones fisiológicas tempranas del comportamiento de genotipos de palma aceitera joven ante la disponibilidad de agua en el suelo en condiciones de campo.

La sostenibilidad del sistema de producción de la palma aceitera en Tumaco, Colombia, depende grandemente de la adopción de prácticas agronómicas que tomen en cuenta las limitaciones ambientales para el cultivo presentes en la región. En particular, se debe prestar especial atención al manejo del suelo para evitar su saturación con agua y para atenuar los efectos negativos de periodos anormalmente secos. Asimismo, la siembra de variedades que presenten tolerancia a estos tipos de estrés es fundamental.

Literatura

Albertazzi H., Bulgarelli J., Chinchilla C. 2005. Onset of spear rots symptoms in oil palm and prior (and contemporary) events. ASD Oil Palm Papers, 28: 21-41. Albertazzi H., Chinchilla C., Ramírez C. 2009.

Características del suelo y desarrollo radical en palma aceitera joven (*Elaeis guineensis* Jacq.) en sitios afectados por pudriciones del cogollo. ASD Oil Palm Papers, 33:1-32

Alvarado A., Sterling F. 2005. Stress tolerant varieties. ASD Oil Palm Papers, 28: 5-20.

Boari A. de J. 2008. Estudios realizados sobre o amarelecimento fatal do dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) no Brasil. Embrapa, serie documentos. Belem Pará, Brasil. 57 p.

Breure K. 2003. The search for yield in oil palm: basic principles. In Fairhust T. and Hardter R. (eds.). Oil palm. Management for large and sustainable yields. PPI, Oxford. p. 59-98.

Brito O., Méndez-Natera J., Barrios R. 2006. Caracterización de variables de crecimiento de 17 progenies de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el estado Monagas, Venezuela. Revista UDO Agrícola, 6(1): 33-40.

Cadena M., Devis M., Málikov I., Ortiz G., Pabón J. 2004. En Tumaco: fenómenos del Niño y la Niña. Eventos ENOS y su relación con el clima y la producción de palma de aceite. Palmas, 25(4): 46-62.

Chinchilla C. 2008. The many faces of spear rots in oil palm: the need for an integrated management approach. ASD Oil Palm Papers, 32: 1-25.

Chinchilla C. 2010. Las pudriciones del cogollo en palma aceitera: la complejidad del desorden y una guía de convivencia. ASD-Palmatica, San José, Costa Rica. 22 p.

Chinchilla C., Alvarado A., Albertazzi H., Torres R. 2007. Tolerancia y resistencia a las pudriciones del cogollo en fuentes de diferente origen de *Elaeis guineensis*. Conf. Internac., Cartagena. 23 p.

Corley R., Tinker P. 2003. The oil palm. Oxford Blackwell Science, Blackwell Publishing Company. 562 p.

Corredor R., Martínez L., Silva C. 2008. Problemática de la pudrición del cogollo en Tumaco e instrumentos para su manejo y la renovación del cultivo. Palmas, 29 (edic. especial): 11-16.

Dufrene E., Saugier B. 1993. Gas exchange of oil palm in relation to light vapour pressure deficit, temperature and leaf age. Funct. Ecol., 7: 97-104.

Fedepalma 2010. Anuario estadístico 2010. La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y el mundo 2005-2009. Bogotá. 158 p.

Foong S. 1999. Impact of moisture on potential evapotranspiration, growth and yield of oil palm. In Darus A. et al. (eds.). Proc. 1999 PORIM Inter. Palm Oil Congress. Malaysia. p. 64-86
.

Hanif M. 2006. Gas exchange of excised oil palm (*Elaeis guineensis*) fronds. Asian Journal of Plant Sciences, 5(1): 9-13.

Henson I. 1993. Photosynthesis, dry matter production and yield of oil palm under light-limiting conditions. PORIM Intl. Palm Oil Congress (Agriculture). p. 525-541.

Henson I., Noor M., Haniff M., Yahya Z., Mustakim S. 2005. Stress development and its detection in young oil palms in North Kedah, Malaysia. Journal of Oil Palm Research, 17: 11-26.

Holdridge L. 1967. Life zone ecology. Tropical Science Center. 206 p.

Ibrahim M., Jaafar H., Hann M., Yusop M. 2010. Changes in growth and photosynthetic patterns of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings exposed to short-term CO_2 enrichment in a closed top chamber. Acta Physiol Plant, 32:305–313

IDEAM 2008. Vulnerabilidad. Capitulo cuatro. In. IDEAM. El ABC del cambio climático en Colombia. Bogotá. 320 p.

IDEAM 2009. Estación Granja El Mira, Tumaco, Colombia. 10 p.

IGAC 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Nariño. Bogotá. 1017 p.

Jaafar H., Ibrahim M. 2012. Photosynthesis and quantum yield of oil palm seedlings to elevated carbon dioxide. Advances in Photosynthesis. Mohammad Najafpour (Ed.)

Kallarackal J., Jeyakumar P., Jacob G. 2004. Water use of irrigated oil palm at three different arid locations in peninsular India. Journal of Oil Palm Research, 16(1): 45-53. Internet 19/9/09.

Lamade E., Setiyo E. 1996. Variation in maximum photosynthesis of oil palm in Indonesia: comparison of three morphologically contrasting clones. Plant. Reach. Develop. 3:429-438.

Lamade E., Setiyo I., Girard S., Ghashghaie J. 2009. Changes in 13C/12C of oil palm leaves to understand carbon use during their passage from heterotrophy to autotrophy. Rapid Commun. Mass Spectrum. 23: 2586-2596. Wiley InterScience. (www.interscience.wiley.com)

Lee C., Niga S., Romzi I., Ismail H. 2005. Early growth and yield performance of irrigated and no-irrigated oil palms planted on undulating and terraced areas in inland peninsular Malaysia. Proc. of Agric. Biotech. and Sustainability Conf. PIPOC 2005. MPOB. Inter. Palm Oil Con. Selangor, Malaysia. 267. 284 p.

Losch R., Schulze E. 1995. Responses of photosynthesi to environmental factors. *.In*. Schulze E., Caldweell M. (Eds.). Ecophysiology of photosynthesisSpringer-Verlag, Berlin. p. 186-204.

Martínez R., Ochoa C., Bastidas P. 1999. El mejoramiento de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Colombia. Metodología estadística. Palmas, 20(2): 9-21.

Noor M., Ismail M., Harun M., Mahmood M. 2005. Leaf study and gas exchange of commercial DxP and PS.1 oil palm seedlings. Proc. Agric. Biotech. and sustainability Conf. PIPOC 2005. MPOB Intern. Palm Oil Congress. Selangor. Malaysia. p. 833-837.

Reyes R., Riaño N., Chinchilla C., Ibarra N. 2013. Physiological response of young oil palms (*Elaeis guineensis* Jacq.) to a steady water supply under greenhouse conditions. ASD Oil Palm Papers, 41: 1-11

Suresh K., Nagamani C. 2006. Variation in photosynthetic rate and associated parameters with age of oil palm leaves under irrigation. Photosynthetica, 44(2): 309-311.

Villalobos E. 1995. Observaciones de las relaciones hídricas en palmas sin síntomas y enfermas con “podredumbre de la flecha”, en condiciones de exceso de agua en el suelo. Informe Técnico. Universidad de Costa Rica. San José de Costa Rica. 7 p.

Villalobos E, Umaña C., Chinchilla C. 1992. Estado de hidratación de la palma aceitera en respuesta a la sequía en Costa Rica. Oleagineux, 47(1): 1-7.

Venturieri A.; Fernandes W., Boari A., Vasconcelos M. 2009. Relacao entre ocorrencia do amarelecimento fatal do dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) e variaveis ambientais no estado do Pará. Embrapa Amazonia Oiental. Instituto Chico Mendes de Conservacao da Biodiversidade, Brasil. Anais XIV Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril. INPE, p. 2523-530.

Wescor 2006. PST-55(-SF) and PCT-55(-SF) soil hygrometer \psychrometer. Instructions for use with Wescor water potential systems. Document number: Man / PST-55 and PCT-55. Wescor environmental products division. Logan, UT, USA. 3P. www.wescor.com. Enero 2006

Wescor 2006a. Model number L-51(-SF) and L-51A(-SF) leaf hygrometer / psychrometer. Instructions for use with Wescor water potential systems. Document number: Man / L-51. Wescor environmental products division. Logan, UT, USA. 3P. www.wescor.com. Enero 2006.

Physiological response of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) to soil water availability under field conditions in Tumaco, Colombia

Rafael Reyes[1], Néstor Riaño[2], Carlos Chinchilla[3], Norbey Ibarra[4]

Abstract

The physiological behavior of four varieties of oil palm (Tanzania x Ekona, Deli x Yangambi Costa Rica, Deli x AVROS and Deli x Yangambi Colombia) subjected to different water supply conditions in the field was studied to compare two soils that differ in their moisture retention capacities: one a silty clay loam of the Pital series (PT) and the other a sandy loam of the Piragua series (PR). These soils are used for oil palm cultivation in Tumaco (Nariño, Colombia). Oil palms were planted (143 palms/ha) in each one of the soils, using a split plot design with four replications. The treatments consisted of maintaining four soil moisture conditions: limited water supply, excess water, a relative control and an absolute control. The treatments were maintained for two months when the palms reached 22 months of age. Soil water potential (ψ_s), leaf water potential (ψ_h) and gas exchange were recorded.

Net photosynthesis (*Fn*) was different in the four varieties of palm according to soil texture and moisture content. In PT soil, the magnitude of *Fn* varied depending on genotype combination and soil moisture content. In PR soil it only varied according to soil moisture content. It was then estimated that in PT soil, each variety required a particular moisture content in the soil profile to express its highest *Fn*. In PR soil, the varieties expressed their highest *Fn* in the presence of similar soil moisture content, which corresponded to the limited water supply condition. Daily *Fn* had a higher frequency of low values (<15 $\mu molCO_2 m^{-2} s^{-1}$), which may have been due to the occurrence of low photosynthetically active radiation (PAR) and high water vapor pressure deficit values in the air (VPD) for a few hours a day. We conclude that in studies related to soil water availability for young oil palms in the field, the response of the palms can be estimated by measuring ψ_h, *Fn* and transpiration (*T*); and that the methodology used in this study was adequate. The results also support the conclusion that soil profile moisture was determinant for photosynthetic activity and the biological production of oil palm, and this should be taken into account when reviewing traditional soil water management practices that could be counterproductive for the production and health of the crop in the region.

Key words: *Elaeis guineensis*, physiology, water relationships

[1] I. Agron. Ph. D. Investigator, CORPOICA, Colombia, rreyes@corpoica.org.co
[2] I. Agron. Ph. D. Investigator coordinator plant physiology, CENICAFE, Colombia, nestorm.riano@cafedecolombia.com
[3] Consultant for ASD Costa Rica, cmlchinchilla@gmail.com
[4] I. Agron. Investigator, CORPOICA, Colombia, lnibarra@gmail.com

Introduction

Oil palm is very sensitive to changes in soil moisture and its fruit yields and health are adversely affected by water excess and deficit. The negative effects of water deficit have been well studied (Kallarackal et al. 2004; Lee et al. 2005), but excess moisture in the soil has not. This situation raises the need for studies in oil palm related to its physiological and productive response to changing soil moisture conditions that range from excess to deficit.

In tropical America there is a health condition in oil palm that is closely associated with the fine root system being affected by excess soil moisture. The case of the so-called 'spear rot' (PC) in the Tumaco region of Colombia has been particularly disastrous and about 30,000 hectares of crop were affected and pulled out of production between 2005 and 2011. Spear rot is also seriously threatening other oil palm producing areas in Colombia (Corredor et al. 2008, FEDEPALMA 2010 2011 and 2012).

Spear rot undoubtedly has a complex etiology in which environmental factors weigh heavily on its incidence and severity and they appear to provide opportunities for several organisms to aggravate symptoms and even cause the death of the plants affected (Albertazzi et al. 2005 and 2009, Boari 2008, Venturieri et al. 2009, Chinchilla 2008, 2010). In addition, there are experiences in several countries that point to a relationship between tolerance to spear rot and the tolerance of some palm varieties to abiotic stress, as in the case of genotypes derived from materials collected in Tanzania, the Bamenda region and some Ekona lines in Africa (Alvarado and Sterling 2005, Chinchilla et al. 2007). In the state of Pará in Brazil, where spear rot has been limiting the crop, it was determined that the regions with the lowest probability for the occurrence of a high incidence of spear rot were those with mild water deficits during the year; this became the base variable of state zoning for the placement of the crop (Venturieri et al. 2009, Ramalho 2010).

The Tumaco region in Colombia has periods of soil moisture deficits and excesses that are amplified by the occurrence of the oceanic phenomena of El Niño and La Niña, which have increased in frequency and magnitude. These extreme climatic oscillations cause cumulative effects on crop growth and production, and for oil palm, causal relationships have been identified within the three years following their presence (Cadena et al. 2004). For the region of Tumaco in the future, a one degree centigrade increase in average air temperature, nearly a 2% reduction of relative humidity of the air, more than a 10% reduction in precipitation and variations in its spatiotemporal distribution are expected (IDEAM 2008).

All these changes and their impact on soil water according to its physical condition and the physiological response of the plant, justify studies that will help anticipate negative effects on crop yields and health. The objective of this research was to determine the effect of water availability in the soil under field conditions on the physiology of four oil palm genotypes under the natural weather conditions of the Tumaco region.

Materials and Methods

Study area and experimental material

The research was conducted from August 2006 to December 2008, under field conditions at the El Mira Experimental Station of the Colombian Agricultural Research Corporation (Corpoica), in the southern Pacific coast region of Colombia, municipality of Tumaco, department of Nariño at 16 masl (1°32'58" N, 78°41'21" W). The region's life zone is tropical moist forest (bh-T) as classified by Holdridge (1967), with cumulative rainfall of 3,067 mm/year, average annual mean temperature of 25.5° C, annual average relative humidity of 88%, potential evapotranspiration of 1,023 mm/year, annual cumulative sunshine of 1,008 hours and annual cumulative solar radiation of 15,080 J/cm^2 (IDEAM 2009).

Previous field experience showed that the oil palm varieties used could have different characteristics in their response to water deficit and the incidence of spear rot-type disturbances (Alvarado and Sterling 2005, Chinchilla et al. 2007).

Palms were planted in two types of soil in one-hectare plots: one previously occupied by grazing cattle (Pital series, *Vitrandic eutrudepts* (PT), silty clay loam with good moisture retention and poorly drained), and the other in a soil of the Piragua series (PR), classified as *Andic dystrudepts* (sandy loam with low moisture retention capacity and well drained) (IGAC 2004).

Composite samples were taken for each one of the soils from the first 60 cm of the profile and sent to the laboratory for determination of their physical characteristics (texture: Bouyucos) and moisture retention curves (pressure cookers at vacuums of 0.03, 0.15, 1.0 and 1.5 MPa).

The palms were planted at the corners of equilateral triangles with nine meter sides (143 palms/ha), and given standard agronomic maintenance for the region, including the establishment of cover with kudzu (*Pueraria phaseoloides*), cleaning a 'plate' or circle around each plant and fertilization. When plants reached 22 months of age, treatments were applied consisting of four soil moisture content conditions that we tried to maintain for two months: the first treatment consisted of a limited supply of water, the second tried to create excess water in the soil, the third was a relative control and the fourth was an absolute control (Table 1). The 16 experimental plots per lot were formed of four palms each (one per variety). The plot size was 7.8 m wide and 36 m long (280.8 m^2/plot).

To reduce the entry of rain water into the plots due to lateral movement within the soil profile, trenches (1.0 m deep and 0.5 m wide) were dug around the first three treatments 3.9 m from the base of the plants. The side walls and bottom of the trenches were covered with black four-gauge plastic supported by sharp wooden stakes and the trenches connected with a main water evacuation channel.

Table 1. Maximum and minimum values of soil water potential (Ψs) in four treatments applied for two months to plants of four varieties of oil palm in the field in silty clay loam (PT) and sandy loam (PR) soils. Tumaco, Colombia

Soil	Treatments according to soil moisture	Deep and Ψs					
		20 cm		40 cm		60 cm	
		Ψs (MPa)		Ψs (MPa)		Ψs (MPa)	
		Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
Pital Series (SP)	Limited water supply	-0,070	-1,267	-0,030	-0,667	-0,030	-0,200
	Excess water in soil	0,000	-0,080	0,000	-0,067	0,000	-0,010
	Relative control	-0,080	-0,267	0,000	-0,133	0,000	-0,120
	Absolute control	-0,070	-0,190				
Piragua Series (PR)	Limited water supply	-0,120	-0,900	-0,060	-0,430	0,000	-0,120
	Excess water in soil	0,000	-0,060	0,000	-0,030	0,000	-0,013
	Relative control	-0,040	-0,250	0,000	-0,180	0,000	-0,081
	Absolute control	-0,025	-0,160				

Details of the treatments

Limited water supply. The soil surface of the plot was covered with transparent four-gauge plastic to try to prevent the entry of rain water into the system (Fig. 1). The plastic sheets were joined with 'velcro' in a way that they could be separated to access the palms and take measurements. During daytime periods without rain, the plastic cover was removed periodically to aerate the soil.

Fig. 1. View of one of the plots of four palms with the soil surface covered by transparent plastic. The plot is surrounded by trenches (0.5 m wide and 1.0 m deep) covered with black plastic. Limited water supply treatment.

Condition with excess water in the soil. Water was allowed into the system according to the supply of precipitation, capillary movement of ground water and the daily addition of 900 liters of water per plot/day (3.20 mm/day); except on days with rainfall. The goal was to keep volumetric soil moisture values above field capacity (45% HV). Each experimental plot had a pumping unit that took water from a well to fill a 5,000-liter capacity reservoir (five-meter tall plastic tank).

Relative control. These were plots with peripheral separation trenches; but where the entry of water into the system depended on the supply of precipitation and ground water movement by capillary action.

Absolute control. Consisted of plots without peripheral separation trenches where water entering the system depended on the supply of precipitation and ground water movement by capillary action.

Experimental design

In each lot a split plot experimental design was used where the main plot was the soil moisture treatment and the subplot was the four varieties of palms, with four replications. The experimental unit was each palm. The data were subjected to descriptive statistics, analysis of variance and multivariate principal component analysis; the mathematical—statistical functions were obtained that best described the behavior of the response variables and their relationships; MS-Excel, SAS®Analytics Pro and Sigma Plot®11 programs were used.

Response variables

Every 20 days, soil water potential was measured at 20, 40 and 60 cm of depth in all the plots, with the exception of the absolute control, where it was only measured at 20 cm. The measurements were made using psychrometric sensors for soil PST-55-30-SF (Wescor Inc.), attached to a Wescor HRT-33 microvoltmeter (Wescor 2006).

The next day, leaf water potential was measured between 6:00 and 8:00 am (central leaflets of the leaf in position nine of the phyllotaxy), using an L-51-SF leaf hygrometer (Wescor Inc.), attached to a Wescor HRT-33 microvoltmeter (Wescor 2006a). In addition, gas exchange (net photosynthesis and transpiration: LI-6200, Licor, Nebraska, USA) was measured in central leaflets of leaf nine between 8:00 and 17:00 pm, with a one-hour interval. However, emphasis was placed on the determination of photosynthetic activity between 09:00 and 11:00 am[5], because major activity in that period had been determined previously. Associated with the daily measurements of gas exchange, photosynthetically active radiation, leaf temperature, relative humidity, water vapor pressure deficit in the air and the concentration of CO_2 in the air were determined.

In the vicinity of the experimental plots, an automated station (µMETOS®sm) was installed for keeping records of temperature, relative humidity and rainfall in the area. Ground water depth in each experimental lot was recorded for six days per week using 2.0 meter deep observation wells.

Climate conditions during the experimental phase

Over a period of seven months prior to the application of the treatments, the maximum temperature recorded was 33.0° C, the minimum was 21.1 degrees and the average was 26.1° C. Accumulated rainfall was 1725 mm, with a weekly average of 56.2 mm. Average relative humidity was 90.5%, with values ranging from 85.0% to 99.4%. During the two months of treatment application, average rainfall was 53.7 mm/week (230 mm/month); and the behavior of the water table fluctuated (25.5 cm - 72.0 cm) for the lot with silty clay loam soil and between 30.0 cm and 103.0 cm for the lot with sandy loam soil, indicating that the two lots had abundant local water supply.

Results and Discussion

Climate variables in the experimental lots

The microclimate within the plots varied widely throughout the day and between days. Daily photosynthetically active radiation (PAR) ranged between 12 and 2,600 µmol photons $m^{-2}s^{-1}$. The highest daily hourly frequency (%) was in the range of 12 to 400 µmol photons $m^{-2}s^{-1}$ (55, 5%). Other values (401 to 1200 µmol photons $m^{-2}s^{-1}$) formed 39.7% and only 4.8% were between 1,201 and 2,600 µmol photons $m^{-2}s^{-1}$. It is clear then that in the study area, conditions of very low energy supply (PAR) occurred during the day that would limit the photosynthetic activity of a species such as oil palm, in which light saturation is reached between 400 and 1,150 µmol photons $m^{-2}s^{-1}$ of RFA (Henson 1993, Corley and Tinker 2003, Noor et al. 2005).

[5] Determination made by the author in a previous execution phase for this research, in a study of the daily CO_2 assimilation curve for the species.

Water vapor pressure deficit in the air (VPD) was greater than 1.7 KPa between 10:00 and 11:00 and between 13:00 and 14:00 hours, which is above the range considered suitable for oil palm photosynthetic activity (0.5 - 1.7 KPa) (Dufrene and Saugier 1993, Henson et al. 2005). However, there are clones with differential sensitivity in their photosynthetic activity to high VPD values (Lamade and Setiyo 1996, Breure 2003).

Average relative humidity was 65%, with maximum values near 85% in the morning hours. Daily leaf temperature varied between 25.5 and 35.0° C, and the highest values were recorded at 11.00 and 13.00 hours, suggesting that leaf temperature was not a limiting factor for photosynthetic activity (Dufrene and Saugier 1993, Breure 2003, Corley and Tinker 2003).

The atmospheric concentration of CO_2 remained above 360 ppm, and a high proportion of the values were near 420 ppm; these values are higher than the global average concentration (Mauna Loa Hawaii August 2011, 390 ppm). Oil palm, as a C3 species, increases its net photosynthesis as CO_2 enrichment of the air increases, with which it can increase growth and fruit yields (Jaafar and Ibrahim 2012, Ibrahim et al. 2010).

Soil (ψ_s) and leaf (ψ_h) water potential

The ψ_s values varied between plots over time, but it was possible to maintain a close correspondence near what was expected according to the treatments proposed (Table 1). ψ_h varied with the variety of palm and over time, depending on the soil type and its moisture content. The observed values for ψ_h (between -0.03 and -0.20 MPa) were within the range determined for oil palm (Kallarackal et al. 2004).

In all the treatments, the Deli x Yangambi variety showed decreasing foliar hydration over time, depending on the genotype and soil type. The genotype from Colombia had a higher ψ_h value in silty clay loam soil in the plots of the absolute control (no restrictions on the entry of water into the system) and in plots with limited water supply (Table 1). In the case of the genotype improved in Costa Rica, the highest ψ_h values were recorded in sandy loam soil in plots with high moisture conditions in the profile.

The results indicate the existence of differences between genotypes (even within the same variety) in their ability to maintain a certain foliar hydration (ψ_h) according to the availability of water in the soil, which is also related to their physical characteristics (Villalobos et al. 1992, Kallarackal et al. 2004, Alvarado and Sterling 2005).

Behavior of net photosynthesis (*Fn*) daily and over time

The daily course of photosynthetic activity showed variation in each genotype depending on the soil type and its moisture content (Fig. 2). *Fn* values were observed between 1.0 and 24.0 $\mu molCO_2 m^{-2} s^{-1}$, with values under 15 $\mu molCO_2 m^{-2} s^{-1}$ predominating; yet all were within the range determined for the species at different ages (3.0 to 27.0 $\mu molCO_2 m^{-2} s^{-1}$) in parts of Africa, Asia and America (Lamade et al. 2009, Noor et al. 2005).

Fn varied with the type of soil in which the plants developed and generally it decreased over time in both types of soil and in all varieties. The highest values were recorded for Deli x Yangambi palms obtained from Costa Rica growing in the silty clay loam soil of the relative control plots (with surrounding trenches but exposed to natural precipitation) and in Deli x AVROS in plots with excess moisture in the soil.

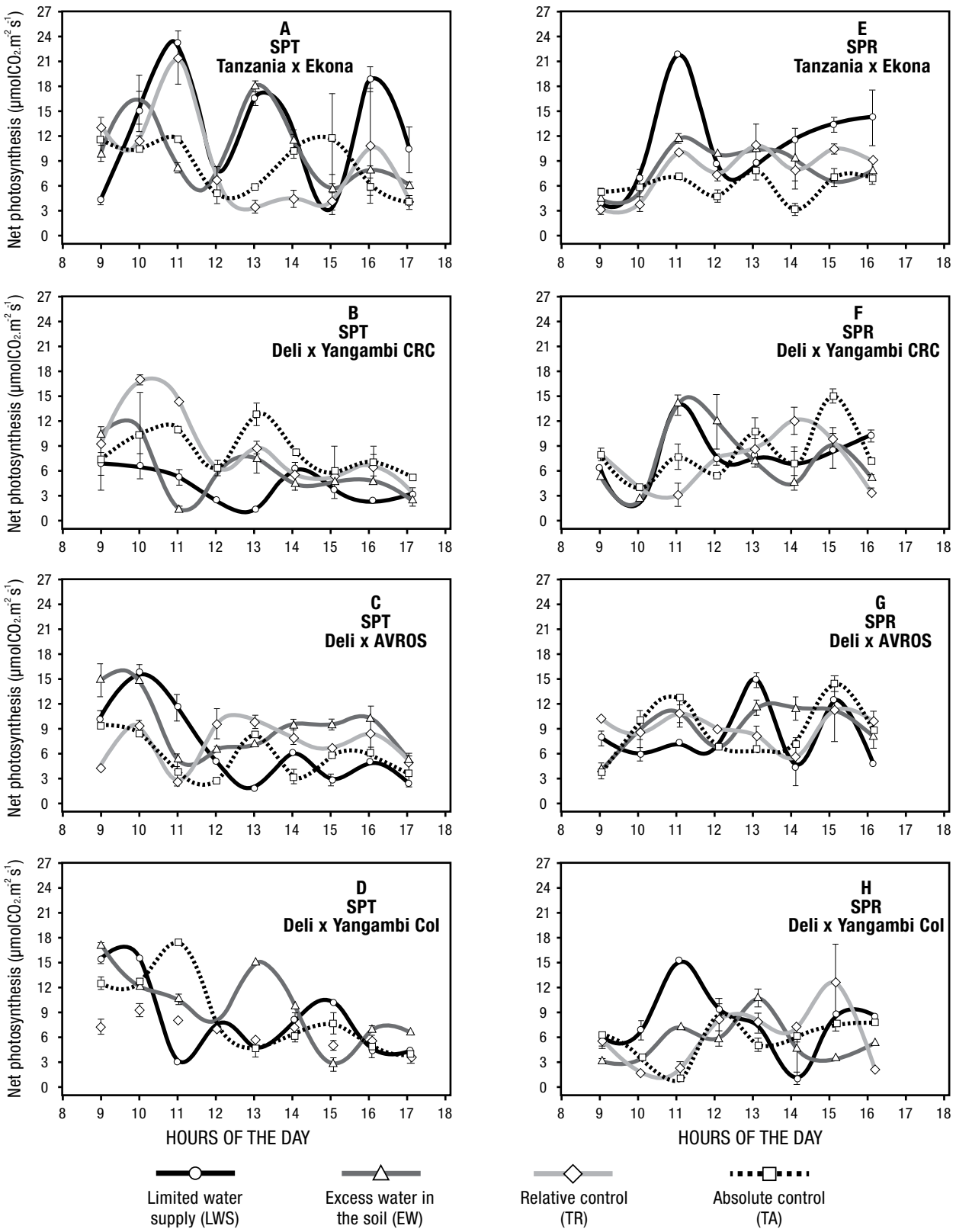

Fig 2. Daily course of net photosynthesis on day 96 (silty clay loam SPT: A-D) and day 91 (lot with sandy loam soil SPR: E-H) in four varieties of palms growing in soils with different moisture contents. Varieties: Tanzania x Ekona, Deli x Yangambi CRC (Costa Rica), Deli x AVROS, Deli x Yangambi Col (Colombia). Tumaco, Colombia.

An interaction was seen in the silty clay loam soil ($P < 0.01$) between soil moisture content and the varieties in the response of *Fn* (Fig. 3). The Deli x Yangambi variety from Costa Rica had different *Fn* values ($P < 0.05$) according to soil moisture content. *Fn* was higher in the relative control plot (13.83 $\mu molCO_2 m^{-2} s^{-1}$) and in the one that had a limited moisture supply (10.24 $\mu molCO_2 m^{-2} s^{-1}$). This same variety, but the one that was improved in Colombia, showed higher *Fn* values in plots with excess soil moisture (11.76 $\mu molCO_2 m^{-2} s^{-1}$) and limited water supply (10.95 $\mu molCO_2 m^{-2} s^{-1}$). In the Tanzania x Ekona variety, the highest *Fn* value was recorded in the plot with limited water supply (12.33 $\mu molCO_2 m^{-2} s^{-1}$) and in Deli x AVROS under conditions of high water availability (15.17 $\mu molCO_2 m^{-2} s^{-1}$) (Fig. 3).

In sandy loam soil, *Fn* varied depending on soil moisture content only. The greatest value of Fn (12.82 $\mu molCO_2 m^{-2} s^{-1}$) was recorded in palms with limited water supply (Table 2), which corresponded to Ψ_s values between -0.12 and -0.9 MPa (20 cm), -0.06 and -0.43 MPa (40 cm) and 0.0001 and -0.12 MPa at 60 cm (Table 1).

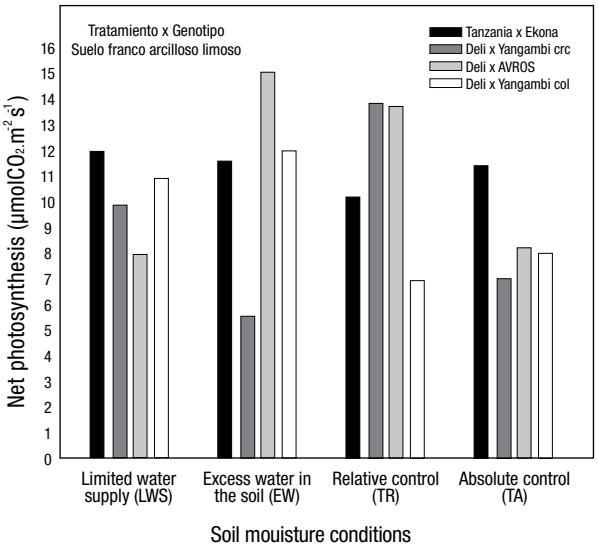

Fig 3. Net photosynthesis (*Fn*) in four varieties of oil palm. Interaction between soil moisture content and variety in silty clay loam soil. Treatments: limited water supply (LWS), excess water in the soil (EW), relative control (TR), absolute control (TA). Tumaco, Colombia.

Table 2. Net photosynthesis (*Fn*) in leaf nine of the phyllotaxy of palms that developed in a sandy loam soil. Tumaco, Colombia

Moisture content in soil	Net photosynthesis ($\mu molCO_2 m^{-2} s^{-1}$)
Limited water supply	12,82 a
Excess water	11,52 b
Absolute control	10,41 c
Relative control	10,86 c

Means with the same letter are not statistically different. Duncan, P> 0.05. Treatments as in Table 1.

When the Tanzania x Ekona variety received a limited supply of water, during the course of the day it showed a higher *Fn* value with respect to the other varieties in both soils (Fig. 2). The *Fn* value for the genotype interaction by soil moisture treatment was also highest in this variety under limited water supply conditions (Fig. 3). It is inferred that this variety largely has the ability to reduce its photosynthetic activity when environmental conditions are unfavorable (Alvarado and Sterling 2005, Chinchilla et al. 2007). The inhibitory feedback mechanisms of photosynthesis and stomatal closure are normal in oil palm and other species, for regulating their photosynthetic processes (Losch and Schulce 1995).

It was notable that the photosynthetic activity of young oil palm showed sensitivity to decreases in soil moisture even within the range of water considered to be rapidly usable by plants. Considering this, the field capacity of the species (with respect to soil moisture) may fall within the range of ψ_s between -0.04 MPa and -0.25 MPa, which was also found in a previous experiment in pots (Reyes et al. 2013B).

Transpiration (*T*)

The daily course of *T* was more variable in the silty loam soil (2 - 5 $mmolH_2Om^{-2}s^{-1}$) than in the sandy loam soil (2 - 3.5 $mmolH_2Om^{-2}s^{-1}$). These values are within the range of *T* found for oil palm (Foong 1999, Suresh and Nagamani 2006).

The behavior of *T* over time was decreasing in the two soils and four varieties. All the varieties showed similar consumption of water released by transpiration regardless of the type of soil in which they grew.

Efficiency in water use (*EWU = Fn/T*)

The daily course of EUA had values between 2.0 and 8.0 µmolCO_2/mmol$H_2$0, which are within the range observed for oil palm (Kallarackal et al. 2004, Noor et al. 2005). The behavior of *EWU* over time was different between genotypes and varied with soil type. In Deli x AVROS, the highest values were observed in plots with limited water supply, from 5.8 to 6.0 µmolCO_2/mmol$H_2$0) in silty clay loam soil and between 5.4 and 5.0 µmolCO_2/mmol$H_2$0) in sandy loam soil. In the Deli x Yangambi variety of Costa Rica origin, the *EWU* in the two soils rose 2.5 to 7.5 µmolCO_2/mmolH_2O in the relative control treatment.

Sensitive traits for the differentiation of genotypes

The multivariate analysis revealed that, in young palms, the variables that showed more discriminatory power to separate varieties according to their response to the availability of water in the soil were ψ_h, *Fn* and *T*; which is consistent with the findings of Reyes et al. 2013a and 2013b, for oil palm in similar studies in pots. It also confirms the usefulness of this statistical technique already used in other studies in the same species (Martinez et al. 1999, Brito et al. 2006). However, the prevailing *Fn* values in Tumaco (*Fn* < 15 µmolCO_2m^{-2}s^{-1}) are lower than those usually found in other regions that grow oil palm in Africa, Asia and America (3-27 µmolCO_2m^{-2}s^{-1}) (Lamade and Setiyo 1996, Noor et al. 2005 Lamade et al. 2009).

Field observations in this study are also consistent with earlier records obtained in greenhouse (screenhouse) studies (Reyes et al. 2013a and 2013b), where, during the day in the area of Tumaco, the occurrence of predominantly low energy supply values (*RFA*: 12 - 400 µmol photons m^{-2}s^{-1}) and sunshine values (average of 2.8 non-continuous hours per day), accompanied by high *VPD* values (greater than 1.7 KPa) mainly occur at midday. All these conditions limit the photosynthetic activity of the species that has attained higher photosynthetic activity associated with *PAR* values between 400 and 1150 µmol photons m^{-2}s^{-1} and sunshine greater than five continuous hours per day (Henson 1993, Corley and Tinker 2003, Noor et al. 2005, Hanif 2006). Values for *VPD* between 0.5 and 1.7 kPa correspond to the range suitable for photosynthetic activity (Dufrene and Saugier 1993, Henson et al. 2005).

However, the Tumaco region has an abundant CO_2 supply (atmospheric concentration > 390 ppm), which may contribute to increased photosynthetic efficiency of the palm, if the soil moisture content (aeration-moisture balance) is appropriate for the photosynthetic process (Jaafar and Ibrahim 2012, Ibrahim et al. 2010).

Given the climatic variations in the Tumaco region, it is possible that high productivity can be obtained in some years (as in the case of the period prior to 2005) similar to those obtained in regions with high energy supplies. However, the balance is easily broken (particularly during the so-called La Niña and El Niño years) and several environmental factors can combine adversely, creating very unfavorable conditions for crop productivity and health, particularly when agronomic measures have not been taken to mitigate the negative effects of these climatic changes, as in the case of maintaining adequate soil aeration.

Conclusions and Recommendations

It was evident in the field experiments that the photosynthetic activity of the oil palm was sensitive to decreased soil water availability, even within the range of water that is normally considered rapidly usable by plants (ψ_s -0.03 MPa and -0.50 MPa), which is considered highly useful for the early selection of genotypes tolerant to water stress.

The best photosynthetic activity was measured when soil moisture contents were in the range of ψ_s between -0.04 MPa and -0.25 MPa in the first 60 cm of the soil. This is considered to be the range of reference for the field capacity of young palms in the Tumaco region. The Tanzania x Ekona variety showed higher photosynthetic activity during the course of the day when it received a

limited supply of water, which is why it is considered to show greater tolerance to a lower availability of water in the soil.

The frequent occurrence of very low levels of photosynthetically active radiation and water vapor pressure deficits in the air during some periods of the day in the Tumaco region was notorious; clearly these are limitations for photosynthetic activity in oil palm.

It is believed that the methodology used in this study was suitable for making early physiological assessments of the behavior of young oil palm genotypes with regard to water availability in the soil under field conditions.

The sustainability of the oil palm production system in Tumaco, Colombia depends on the adoption of agronomic practices that take into account environmental constraints for the crop in the region. In particular, attention should be paid to soil management to prevent its saturation by moisture and the prevention of abnormally dry periods, and the planting of varieties that show tolerance to these kinds of stresses.

Acnowledgements

To the entities and businesses of Colombia: Ministry of Agriculture and Rural Development, CORPOICA, Inversiones Rankin Bolívar and Cordeagropaz; members of the alliance that funded the research. To CENICAFÉ, for its support during the execution of the research. To ASD de Costa Rica, for its support with genetic materials and technical information used in the research.

Literatura

Albertazzi H., Bulgarelli J., Chinchilla C. 2005. Onset of spear rots symptoms in oil palm and prior (and contemporary) events. ASD Oil Palm Papers, 28: 21-41. Albertazzi H., Chinchilla C., Ramírez C. 2009.

Características del suelo y desarrollo radical en palma aceitera joven (*Elaeis guineensis* Jacq.) en sitios afectados por pudriciones del cogollo. ASD Oil Palm Papers, 33:1-32

Alvarado A., Sterling F. 2005. Stress tolerant varieties. ASD Oil Palm Papers, 28: 5-20.

Boari A. de J. 2008. Estudios realizados sobre o amarelecimento fatal do dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) no Brasil. Embrapa, serie documentos. Belem Pará, Brasil. 57 p.

Breure K. 2003. The search for yield in oil palm: basic principles. In Fairhust T. and Hardter R. (eds.). Oil palm. Management for large and sustainable yields. PPI, Oxford. p. 59-98.

Brito O., Méndez-Natera J., Barrios R. 2006. Caracterización de variables de crecimiento de 17 progenies de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el estado Monagas, Venezuela. Revista UDO Agrícola, 6(1): 33-40.

Cadena M., Devis M., Málikov I., Ortiz G., Pabón J. 2004. En Tumaco: fenómenos del Niño y la Niña. Eventos ENOS y su relación con el clima y la producción de palma de aceite. Palmas, 25(4): 46-62.

Chinchilla C. 2008. The many faces of spear rots in oil palm: the need for an integrated management approach. ASD Oil Palm Papers, 32: 1-25.

Chinchilla C. 2010. Las pudriciones del cogollo en palma aceitera: la complejidad del desorden y una guía de convivencia. ASD-Palmatica, San José, Costa Rica. 22 p.

Chinchilla C., Alvarado A., Albertazzi H., Torres R. 2007. Tolerancia y resistencia a las pudriciones del cogollo en fuentes de diferente origen de *Elaeis guineensis*. Conf. Internac., Cartagena. 23 p.

Corley R., Tinker P. 2003. The oil palm. Oxford Blackwell Science, Blackwell Publishing Company. 562 p.

Corredor R., Martínez L., Silva C. 2008. Problemática de la pudrición del cogollo en Tumaco e instrumentos para su manejo y la renovación del cultivo. Palmas, 29 (edic. especial): 11-16.

Dufrene E., Saugier B. 1993. Gas exchange of oil palm in relation to light vapour pressure deficit, temperature and leaf age. Funct. Ecol., 7: 97-104.

Fedepalma 2010. Anuario estadístico 2010. La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y el mundo 2005-2009. Bogotá. 158p.

Foong S. 1999. Impact of moisture on potential evapotranspiration, growth and yield of oil palm. In Darus A. et al. (eds.). Proc. 1999 PORIM Inter. Palm Oil Congress. Malaysia. p. 64-86.

Hanif M. 2006. Gas exchange of excised oil palm (*Elaeis guineensis*) fronds. Asian Journal of Plant Sciences, 5(1): 9-13.

Henson I. 1993. Photosynthesis, dry matter production and yield of oil palm under light-limiting conditions. PORIM Intl. Palm Oil Congress (Agriculture). p. 525-541.

Henson I., Noor M., Haniff M., Yahya Z., Mustakim S. 2005. Stress development and its detection in young oil palms in North Kedah, Malaysia. Journal of Oil Palm Research, 17: 11-26.

Holdridge L. 1967. Life zone ecology. Tropical Science Center. 206 p.

Ibrahim M., Jaafar H., Hann M., Yusop M. 2010. Changes in growth and photosynthetic patterns of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings exposed to short-term CO_2 enrichment in a closed top chamber. Acta Physiol Plant, 32:305–313

IDEAM 2008. Vulnerabilidad. Capitulo cuatro. In. IDEAM. El ABC del cambio climático en Colombia. Bogotá. 320 p.

IDEAM 2009. Estación Granja El Mira, Tumaco, Colombia. 10 p.

IGAC 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Nariño. Bogotá. 1017 p.

Jaafar H., Ibrahim M. 2012. Photosynthesis and quantum yield of oil palm seedlings to elevated carbon dioxide. Advances in Photosynthesis. Mohammad Najafpour (Ed.)

Kallarackal J., Jeyakumar P., Jacob G. 2004. Water use of irrigated oil palm at three different arid locations in peninsular India. Journal of Oil Palm Research, 16(1): 45-53. Internet 19/9/09.

Lamade E., Setiyo E. 1996. Variation in maximum photosynthesis of oil palm in Indonesia: comparison of three morphologically contrasting clones. Plant. Reach. Develop. 3:429-438.

Lamade E., Setiyo I., Girard S., Ghashghaie J. 2009. Changes in 13C/12C of oil palm leaves to understand carbon use during their passage from heterotrophy to autotrophy. Rapid Commun. Mass Spectrum. 23: 2586-2596. Wiley InterScience. (www.interscience.wiley.com)

Lee C., Niga S., Romzi I., Ismail H. 2005. Early growth and yield performance of irrigated and no-irrigated oil palms planted on undulating and terraced areas in inland peninsular Malaysia. Proc. of Agric. Biotech. and Sustainability Conf. PIPOC 2005. MPOB. Inter. Palm Oil Con. Selangor, Malaysia. 267. 284 p.

Losch R., Schulze E. 1995. Responses of photosynthesi to environmental factors. *In*. Schulze E., Caldweell M. (Eds.). Ecophysiology of photosynthesisSpringer-Verlag, Berlin. p. 186-204.

Martínez R., Ochoa C., Bastidas P. 1999. El mejoramiento de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Colombia. Metodología estadística. Palmas, 20(2): 9-21.

Noor M., Ismail M., Harun M., Mahmood M. 2005. Leaf study and gas exchange of commercial DxP and PS.1 oil palm seedlings. Proc. Agric. Biotech. and sustainability Conf. PIPOC 2005. MPOB Intern. Palm Oil Congress. Selangor. Malaysia. p. 833-837.

Reyes R., Riaño N., Chinchilla C., Ibarra N. 2013. Physiological response of young oil palms (*Elaeis guineensis* Jacq.) to a steady water supply under greenhouse conditions. ASD Oil Palm Papers, 41: 1-11

Suresh K., Nagamani C. 2006. Variation in photosynthetic rate and associated parameters with age of oil palm leaves under irrigation. Photosynthetica, 44(2): 309-311.

Villalobos E. 1995. Observaciones de las relaciones hídricas en palmas sin síntomas y enfermas con “podredumbre de la flecha”, en condiciones de exceso de agua en el suelo. Informe Técnico. Universidad de Costa Rica. San José de Costa Rica. 7 p.

Villalobos E, Umaña C., Chinchilla C. 1992. Estado de hidratación de la palma aceitera en respuesta a la sequía en Costa Rica. Oleagineux, 47(1): 1-7.

Venturieri A.; Fernandes W., Boari A., Vasconcelos M. 2009. Relacao entre ocorrencia do amarelecimento fatal do dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) e variaveis ambientais no estado do Pará. Embrapa Amazonia Oiental. Instituto Chico Mendes de Conservacao da Biodiversidade, Brasil. Anais XIV Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril. INPE, p. 2523-530.

Wescor 2006. PST-55(-SF) and PCT-55(-SF) soil hygrometer \psychrometer. Instructions for use with Wescor water potential systems. Document number: Man / PST-55 and PCT-55. Wescor environmental products division. Logan, UT, USA. 3P. www.wescor.com. Enero 2006

Wescor 2006a. Model number L-51(-SF) and L-51A(-SF) leaf hygrometer / psychrometer. Instructions for use with Wescor water potential systems. Document number: Man / L-51. Wescor environmental products division. Logan, UT, USA. 3P. www.wescor.com. Enero 2006.

La tolerancia al estrés abiótico, las pudriciones del cogollo (PC) y la marchitez por *fusarium* en palma aceitera (*Elaeis guineensis*) están relacionadas

Amancio Alvarado[1], Carlos Chinchilla[2], Hector Albertazzi1[3]

Resumen

ASD Costa Rica posee un germoplasma muy variado de *Elaeis guineensis* y *E. oleifera*; algunos de cuyos descendientes han sido plantados en diferentes regiones de América tropical. Dichas siembras, tanto experimentales como comerciales, han permitido evaluar la respuesta a condiciones diversas como el estrés abiótico, desórdenes del crecimiento y enfermedades. En varios experimentos de campo se evaluó el impacto de la interacción genotipo x ambiente sobre el rendimiento de fruta y se determinó la respuesta a enfermedades como la pudrición del cogollo (PC). Adicionalmente, en un ensayo realizado en Pará, Brasil, se evaluó la respuesta a la marchitez por *Fusarium oxysporum* f.sp. *elaeidis* (MF), en la etapa de previvero. Algunos de estos cruces también estuvieron presentes en evaluaciones sobre tolerancia a estrés (principalmente hídrico) y en pruebas de genotipo x ambiente en donde se determinó su respuesta a la PC.

Cuando los resultados de todas estas pruebas de campo fueron analizados conjuntamente surgió la imagen de una clara correspondencia entre grados de tolerancia (o susceptibilidad) al estrés abiótico (déficit hídrico, bajas temperaturas y baja radiación solar), a la PC y a la marchitez por *Fusarium*. Los resultados se explican por el efecto determinante que tienen las condiciones ambientales sobre la incidencia y la severidad de la PC y la MF. El programa de mejoramiento genético de ASD está usando esta información para crear nuevas variedades de palma aceitera, con mayor tolerancia a estos factores de estrés y a enfermedades.

Tolerancia al estrés

La mayoría de las variedades comerciales de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) son bastante susceptibles al estrés abiótico, en particular exceso y déficit hídrico, baja radiación solar y bajas (y posiblemente altas) temperaturas. No obstante, existe suficiente variación genética dentro de la especie, para poder seleccionar genotipos con tolerancia a estos factores extremos (Rajanaidu et al. 1993).

Los mecanismos de tolerancia a los excesos de agua en el suelo en palma aceitera han sido poco estudiados, pero es esperable que sean similares a los que determinan la tolerancia al déficit hídrico, tales como un eficiente mecanismo de regulación estomática, las características del sistema radical y otras características anatómicas y fisiológicas (Umaña y Chinchilla 1989, Villalobos et al. 1990, 1991 y 1992, Hossou et al. 1992, Nouy et al. 1999).

La tolerancia al déficit hídrico en 34 genotipos de la colección de ASD, fue evaluada en un ensayo plantado en 1994 en un sito con aproximadamente 700 mm de déficit hídrico anual (agudizado por fuertes vientos) y los resultados se compararon con lo observado en los mismos genotipos en otro sitio sin déficit hídrico (para determinar el crecimiento y potencial de producción de aceite). La mejor respuesta al déficit hídrico, determinada como una menor acumulación de hojas flecha al final del

[1] ASD Costa Rica, a.alvarado@asd-cr.com
[2] h.albertazzi@asd-cr.com
[3] Consultor para ASD, cmlchinchilla@gmail.com

periodo seco, se observó en las poblaciones de origen Angola, Tanzania (*ténera*) y Yangambi. Las más sensibles fueron progenies descendientes de líneas Deli *dura*, en particular en combinación con fuentes de polen AVROS, Ekona y Calabar. El origen Deli mostró mayor tolerancia cuando fue cruzado con las poblaciones Tanzania, Yangambi y La Mé.

Por otro lado, los síntomas extremos de déficit hídrico, determinados como un secamiento prematuro de las hojas más viejas en palma joven, fueron menores en las líneas de Bamenda, Angola y en las poblaciones silvestres obtenidas en Malawi y Mobai. En términos de rendimiento de fruta, el origen Malawi y las progenies de origen Bamenda y Tanzania, y en menor grado de Mobai, fueron las mejores en los primeros 24 meses. Las descendencias de las líneas Deli *dura* y Tanzania (*dura*) fueron más susceptibles y aunque las diferencias fueron menores entre las líneas masculinas, la fuente Mobai fue superior (Alvarado y Sterling 2003).

La precocidad y producción de racimos fue fuertemente afectada por el déficit hídrico en las variedades comerciales de origen *dura* Deli. No obstante, Deli x La Mé, y en menor grado Deli x Yangambi, tuvieron un comportamiento aceptable (Alvarado y Sterling 2003). Un resultado similar había sido encontrado antes por Hossou el al. (1992).

Villalobos y Rodriguez (1998) determinaron que la mejor adaptación a la sequía de las progenies Angola x Tanzania y Angola x La Mé se reflejó en su mejor apariencia, mayor carga de racimos de fruta, mayor potencial hídrico al amanecer y mayor peso específico foliar. Recientemente, Reyes et al. (2013) documentaron algunas de las variables fisiológicas que estaban asociadas con la tolerancia al estrés hídrico en Bamenda Ekona y Tanzania x Ekona.

La tolerancia combinada al déficit hídrico y temperaturas por debajo de lo considerado óptimo para el cultivo comercial de la palma aceitera se ha evaluado en variedades consideradas rústicas. Estas se han derivado de colecciones silvestres obtenidas en las tierras altas de Camerún (Bamenda: 900-1500 msnm, con 5-6 meses de estación seca y baja oferta lumínica) y de Tanzania (Kigoma: 850 msnm, temperatura mínima 12°C y 5-6 meses de estación seca). Las variedades comerciales (Bamenda x AVROS, Bamenda x Ekona, Tanzania x AVROS y Tanzania x Ekona) han respondido bien en tierras de mediana elevación en Camerún, Etiopía, Kenia, Malawi, Zambia y Ecuador (Alvarado y Sterling 2003, Richardson y Chávez 1986).

Dentro de las progenies Bamenda se encontraron algunas con alta precocidad y también con tolerancia a la marchitez por *Fusarium* (Blaak y Sterling 1996, Chapman et al. 2003, Steele y Grifee 2001, FAO 2002). Otras poblaciones con tolerancia a estrés fueron colectadas en Entebbe (Uganda) y Zambia (Kasemba, Nchelenge y Mulwe: 1000-1100 msnm, media de 1200 mm de lluvia anual y 16 grados de temperatura mínima). Otras introducciones provienen de la provincia Oriental de Sierra Leona (Mobai) y de la región de Kagoro, al norte de Malawi (500 msnm, con baja precipitación pluvial). Las características de las regiones de donde provienen algunos de los materiales genéticos con tolerancia al estrés biótico se anotan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Condiciones generales de altitud y precipitación en varias regiones de África, en donde ASD recolectó germoplasma silvestre de palma aceitera

País	Localidad	Altitud msnm*	Precipitación mm/año	Tolerancia esperada
Camerún	Bamenda	1600	2480	frío
Tanzania	Kigoma	880	960	frío, sequía
Uganda	Entebbe	1100	1530	frío, sequía
Zambia	Kawambwa	1300	1300	frío, sequía
Malawi	Karonga	530	1180	sequía
Sierra Leona	Kenema	60	970	sequía

*msnm = metros sobre el nivel del mar

Tolerancia a estrés abiótico y a la PC

Las causas de las pudriciones del cogollo en palma aceitera son complejas e incluyen la persistencia de condiciones que causan estrés sobre las plantas, en particular la baja aeración del suelo, el déficit hídrico, una baja radiación fotosintéticamente activa y desequilibrios nutricionales. La combinación de dos o más de estos factores ha sido un denominador común en todas las regiones donde la PC se ha desarrollado, independientemente de cualquier agente patogénico que pudiera agravar los síntomas en un sitio en particular.

Durante las evaluaciones de los genotipos tolerantes a estrés en varias regiones de América tropical (Costa Rica, Colombia, Ecuador) se determinó una alta correspondencia entre esta tolerancia y una mejor respuesta a la PC (Chinchilla et al. 2006). La respuesta de tolerancia a la PC se definió según los siguientes criterios: 1) una aparición tardía del desorden, 2) una menor tasa de incremento en el tiempo, 3) una menor incidencia final, 4) síntomas menos severos y 5) una recuperación más rápida en las fases vegetativa y productiva. Estas características fueron evidentes en cruces como Bamenda x Ekona, Tanzania x Ekona y otros de origen Malawi. Un ejemplo de la respuesta observada en los experimentos se ilustra en el cuadro 2. La situación contraria fue observada en variedades comerciales tradicionales como Deli x AVROS (DxA), la cual mostró mayor susceptibilidad al estrés abiótico y mayor severidad e incidencia de PC. Esta mayor susceptibilidad de DxA ha sido encontrada en múltiples estudios sobre la PC y en plantaciones comerciales (Chinchilla et al. 2006, 2009).

Cuadro 2. Incidencia de PC (%) en varias progenies de palma aceitera a los tres años, zona Atlántica, Costa Rica

♀	AVROS	Ghana	Ekona	La Mé ♂	Mobai	Malawi	Media
Deli	33.3	11.3	23.8		13.0		20.4
Deli/Tanzania	21.1	15.5	24.4				20.3
Deli/Angola	21.2		16.0	17.9			18.4
Deli/Angola/Ek.						3.6	3.6
Entebbe			7.3				7.3
Tanzania/AVROS						8.5	8.5
Zambia/AVROS	30.0						30.0
Bamenda	21.5		10.9				16.2
Media	25.4	13.4	16.5	17.9	13.0	6.1	15.6

♀ = progenitor femenino; ♂ = progenitor masculino

La tasa de incremento de la enfermedad en el tiempo también es importante, y destaca la ventaja de algunas variedades como Bamenda x Ekona, en donde una baja tasa de incremento, síntomas más leves y facilidad para recuperarse del ataque, permitirían mantener una producción estable aún en presencia de la PC. No obstante lo anterior, la siembra de este tipo de materiales siempre debe ir acompañada del mejor manejo agronómico posible para que se pueda expresar plenamente la tolerancia.

Cuadro 3. Incremento de la incidencia de la PC (%) en el tiempo en un grupo de cruces de palma aceitera

	Meses			
	0	4	9	15
Deli x AVROS	1	4	12	33.3
Deli x Ghana	0	3.5	5	11.3
Deli x Ekona	1.5	3.5	7.4	23.8
Deli x Mobai	0	5.6	7.4	13
Deli/Angola/Ekona. x Malawi	0	0	0	3.6
Entebbe x Ekona	2	2	4	7
Bamenda x Ekona	0	0	0	10.9

La habilidad en las variedades tolerantes de recuperarse de un ataque de PC, gracias a síntomas más leves, se ilustra en el cuadro 4.

Cuadro 4. Incidencia de PC y producción en un grupo de cruces de palma aceitera que sufrieron un ataque de la enfermedad y se encontraban en la fase de recuperación (palmas de 7 años)

	Palmas sanas (%)	Racimos/palma
Deli x Ghana	50	4.9
Deli/Angola x Ekona	63	6.4
Deli/Tanzania x Ekona	50	5.4
Deli x AVROS	29	3.9
Deli x Nigeria	67	6.1
Bamenda x Ekona	58	7.1

La figura 1 muestra la severidad de PC en cuatro variedades sembradas en la costa Pacífica de Costa Rica, donde se nota el mejor comportamiento de Bamenda x Ekona y la rápida recuperación en Tanzania x Ekona.

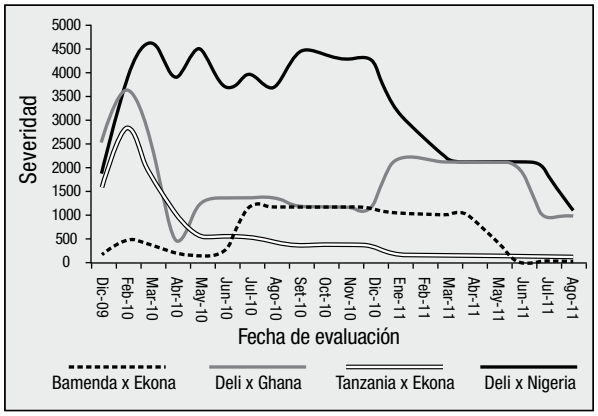

Fig. 1. Cambios en la severidad de los síntomas de la PC en cuatro variedades de palma aceitera (20 meses de evaluación).

Tolerancia al estrés y a la marchitez por *fusarium*

La marchitez (MF) de la palma aceitera causada por el hongo *Fusarium oxysporum* f.sp. *elaeidis* es considerada de importancia en varios países de África del oeste. En América, el patógeno ha sido encontrado en Pará (Brasil) y Quinindé (Ecuador) (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.

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). La incidencia a MF 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 (por la muerte de las raíces superficiales), el potasio en el suelo es deficiente y los suelos tienen baja capacidad de retención de humedad. También se ha observado que la enfermedad aumentaba en suelos con pobre aeración, lo cual también causa debilidad y muerte de raíces. La baja aeración de los suelos puede ser causada por factores como drenaje pobre, compactación del suelo y la combinación de textura muy fina y estructura débil o ausencia de esta, entre otros.

La incidencia (y muy probablemente la expresión de los síntomas) se incrementaba cuando se suspendía la fertilización, cuando los nutrimentos no estaban equilibrados (particularmente en la relación N/K), o bien no se aplicaba fertilizante del todo, lo cual era común. La falta de un programa adecuado de fertilización (equilibrado, suficiente y oportuno) es denominador común en un gran porcentaje de plantaciones en África, siendo muchas de éstas, huertos de antiguas palmas *dura* que no recibían un manejo adecuado. La situación se agravaba, desde luego, cuando los suelos tenían una baja fertilidad natural.

Existe una amplia respuesta en términos de tolerancia a MF en los diferentes materiales de siembra (Ollagnier y Renard 1976, Franqueville y Renard 1990) y esta respuesta, evaluada en palmas de vivero, está relacionada con el comportamiento de campo. La metodología de inoculación del hongo en palmas de vivero, permite seleccionar cruces promisorios por su tolerancia a MF (Prendergast 1963, Renard et al. 1980; Franqueville y Renard 1990). No obstante la utilidad de este método, la susceptibilidad parece estar asociada a muchos genes (que posiblemente también determinan tolerancia a estrés abiótico); lo cual aparentemente impide la obtención de una variedad completamente resistente.

ASD realizó una evaluación de 37 cruces (incluyendo autofecundaciones) en el estado de Pará en Brasil, en donde la marchitez por *Fusarium* había sido introducida aparentemente desde África. Algunos de estos cruces también se sembraron en Costa Rica en un área en donde varios años después se presentó la PC, lo que permitió documentar la respuesta a este desorden, y compararla con los datos de tolerancia a *Fusarium* obtenidos en Brasil (Cuadro 5) varios años antes (Chinchilla 1986).

Cuadro 5. Respuesta a inoculaciones con el hongo *Fusarium oxysporum* f.sp. *elaeidis* en previvero y a la PC en palmas adultas de cuatro cruces de *Elaeis guineensis*

	Respuesta a la PC (%)			Respuesta a la *Fusarium*[1]
	Palmas sanas	Síntomas leves	Síntomas severos	
Ekona x Ekona 1	32.2	12.0	22.0	0.44
Ekona x Ekona 2	16.7	8.3	71.7	0.70
Ekona: autofecundación 1	56.7	11.7	8.3	1.60
Ekona: autofecundación 2	45.0	30.0	18.3	1.90

[1] Indice de tolerancia: % de palmas sanas y con buen crecimiento en el cruce / % palmas sanas y con buen crecimiento en todo el ensayo (37 cruces)

Conclusiones

ASD tiene como fortaleza una colección muy variada de materiales genéticos de orígenes muy diversos, incluyendo regiones con claras limitaciones ambientales según lo que se considera óptimo para el cultivo de la palma aceitera. Estos materiales han sido cruzados y mejorados para ofrecer una amplia gama de variedades adaptadas a diferentes condiciones. Como parte del mejoramiento genético, muchos de estos cruces se han plantado en regiones con bajas temperaturas, déficit hídrico y baja oferta lumínica, y algunos han sobresalido por su tolerancia a estas limitantes.

En algunos sitios de evaluación, también se han presentado problemas fitosanitarios como la pudrición del cogollo (PC), lo cual dio la oportunidad de evaluar la tolerancia de los materiales a este desorden. Adicionalmente, algunos orígenes habían sido expuestos al hongo causante de la marchitez (*Fusarium oxysporum* f. sp. *elaeidis*); por lo cual se tuvo la oportunidad de tener datos sobre su tolerancia al estrés abiótico y la respuesta a la PC y la marchitez por *Fusarium*. El resultado de este ejercicio ha sido muy satisfactorio, puesto que emergió una clara relación entre estos tres elementos; lo cual podría ser esperable cuando se considera que existe amplia evidencia que relaciona la incidencia y severidad de los síntomas de PC y *Fusarium* con estrés abiótico.

Adicionalmente, ha resultado claro que la respuesta (de tolerancia o susceptibilidad) de los genotipos en sus fases juveniles (previvero, vivero o primer año en el campo) a estos factores (estrés abiótico, PC y marchitez por *Fusarium*) se relaciona con su comportamiento en la fase adulta.

Por consiguiente, las oportunidades para seleccionar madres y fuentes de polen adecuadas para crear nuevas variedades adaptadas a ambientes extremos (déficit hídrico, baja radiación solar, bajas temperaturas y posiblemente excesos de agua en el suelo) son múltiples. Se espera que estas variedades muestren además tolerancia a diversos problemas fitosanitarios asociados con estas condiciones, incluyendo, además de la PC y la marchitez por *Fusarium*, otros como la llamada 'pudrición basal húmeda' (¿bacterias?), la 'pudrición basal corchosa' (*Ustulina deusta*), la pudrición alta del tallo (de etiología compleja), la 'mancha anular' (virus?) y la 'pudrición basal' por *Ganoderma*. No obstante, el máximo potencial de tolerancia de cualquier variedad a estrés abiótico, solo se obtendrá cuando se dé el mejor manejo agronómico posible; lo cual también es requerido para obtener la mejor respuesta de tolerancia a problemas como la PC y la marchitez por *Fusarium*.

Literatura

Aderungboye F. O. 1982. Significance of vascular wilt in oil palm plantations in Nigeria. The Oil Palm in the eighties. The incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur. Pp. 475 484.

Alvarado A. Sterling F. 2003. Desarrollo de variedades de palma de aceite para condiciones climáticas extremas. XIV Conf. Int. Palma Aceite. FEDEPALMA, Cartagena, Colombia.

Blaak G., Sterling F. 1996. The prospects of extending oil palm cultivation to higher elevations through using cold-tolerant plant material. The Planter (Kuala Lumpur), 72:645-652.

Chapman K., Escobar R., Griffee P. 2003. Cold tolerant or altitude adapted oil palm hybrid development initiatives in the Asia/Pacific region. Au. J. T. 6(3):1-5.

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*. Palmas. 28 (No. especial): 273-284.

Chinchilla C. 2009. ¿Son los materiales de siembra comerciales de palma aceitera la razón principal de las explosiones de pudriciones de cogollo en América tropical, o solo parte de la ecuación? Tierra Palmera (Colombia), 29: 30-34

Chinchilla C. 1986. Evaluación de cruces tolerantes a marchitez por *Fusarium* en la fase de vivero en Para (Brasil). ASD de Costa Rica. Informe interno. 23 pp.

Franqueville H. and Renard J. L. 1990. Improvement of oil palm vascular wilt tolerance. Results and development of the disease at the R. Michaux plantation. Oléagineux. 45(10): 399- 405.

Franqueville H., Diabaté S. 2004. Status on oil palm vascular wilt. MPOB, Inter. Conf. on Pests and Diseases of Importance to the Oil Palm Industry. Kuala Lumpur. 7 p. (unedited).

FAO. 2002. Oil palm in western Kenya. Agriculture 21 Magazine, FAO. 3 p.

Houssou M., Cornaire B., Omore A., Adje J. 1992. Selection pour la résistance á la sécheresse du palmier á huile. ISOPB. Montpellier, France.

Nouy B., Baudouin L., Djegui N., Omore A. 1999. Le palmier a huile en conditions hydriques limitâtes. Plantations, recherche, développement. pp 31-45.

Ollagnier R, Renard J.L. 1976. The influence of potassium on the resistance of oil palms to *Fusarium oxysporum*. Oléagineux. 31 (5): 203 209.

Oritsejafor J. 1986. Weed hosts of F. *oxysporum* f. sp. *elaeidis*. Oléagineux. 4 (1): 1 7.

Prendergast A. G. 1957. Observations on the epidemiology of vascular wilt disease of the oil palm. J. W. Afr. Inst. Res. Oil Palm. 2, 147-175.

Prendergast A.G. 1963. A method of testing oil palm progenies at the nursery stage for resistance to vascular wilt disease caused by *Fusarium oxysporum*. J. West Afr. Inst. Oil Palm Res. 4 (14): 156 175.

Rajanaidu N., Jalani S., Rao V., Kushairi A. 1993. Genotype-environment interaction (GE) studies in oil palm (*Elaeis guineensis*) progenies. In Proc. 1991 ISOPB Int. Worshop on genotype interaction studies in perennial tree crops. Pp 12-32. Palm Oil Res Inst Malysia, Kuala Lumpur.

Renard J.L., Noriet J.M., Meunier J. 1980. Sources and ranges of resistance to *Fusarium* wilt in the oil palm (*E. guineensis*) and *E. melanococca*. *Oleaginéux*. 35 (8 9): 387 393.

Renard J.L., Quillec G. 1983. *Fusarium* and replanting. Elements to be considered when replanting oil palm in a *Fusarium* zone in West Africa. Oléagineux. 38 (7): 421 427.

Renard J.L., Franqueville H. 1991. Effectiveness of crop techniques in the integrated control of oil palm vascular wilt. Oléagineux. 46(7):255-265.

Richardson D., Chavez C. 1986. Oil palm germplasm of Tanzanian origin. Turrialba (Costa Rica), 36(4): 493-498.

Steele P., Griffee P. 2001. Western Kenya and the potential for oil palm. FAO Int. Rep. 7 p.

Umaña C., Chinchilla C. 1989. Sintomatología asociada al déficit hídrico en palma aceitera. Bol. Tec. OPO-UB 3(3): 50-54.

Villalobos E., Chinchilla C., Echandi C., Fernández O. 1991. Short term responses of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) to water deficit in Costa Rica. PORIM Int. Conf, Kuala Lumpur, Malaysia.

Villalobos E., Rodríguez W. 1998. Evaluación de la capacidad de asimilación del carbón, de la eficiencia en el uso del agua y de la resistencia a la sequía, en progenies de palmas aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Costa Rica. Univ. Costa Rica, Informe de Proyecto VI-734-97-16, CIGRAS, 1998. 32 p.

Villalobos E., Umaña C., Chinchilla C. 1992. Estado de hidratación de la palma aceitera, en respuesta a la sequía. Oléagineaux 47(5):217-223.

Villalobos E., Umaña C., Sterling F. 1990. Determinación del contenido relativo de agua en progenies de palma aceitera (*Elaeis guineensis*), durante la época seca en Quepos, Costa Rica. Agronomía Costarricense 14(1): 73-78.

Tolerance to abiotic stress, spear rot (PC) and *fusarium* wilt in oil palm (*Elaeis guineensis*) are related

Amancio Alvarado[1], Carlos Chinchilla[2], Hector Albertazzi1[3]

Abstract

ASD Costa Rica has an ample collection of *Elaeis guineensis* and *E. oleifera*, from which many commercial and experimental crosses have derived and planted in many tropical regions, where they have been exposed to varied conditions in terms of abiotic stress and phytosanitary problems. Some experiments tested the interaction genotype by environment on yield, but it was also possible to evaluate the response of the crosses to disorders such a spear rots, known in tropical America as PC (pudrición del cogollo).

In one particular nursery test conducted in Pará, Brasil, the response of a selected group of crosses to *Fusarium* wilt (*Fusarium oxysporum* f.sp. *elaeidis*) was also evaluated. Some of these crosses were also present in field trials to evaluate the response to water deficit and PC.

When the results of all these tests were put together, it was possible to determine a close relationship between the response of tolerance (or susceptibility) to stress (low temperatures, low solar radiation and water deficit), PC and *Fusarium* wilt.

These results can be explained considering the dominant effect of environment (strong site effect) on the response of the oil palm to PC and *Fusarium* wilt (in terms of incidence and symptom severity), as found in the literature on these two conditions. ASD's oil palm breeding program is using this information to develop new oil palm varieties with greater tolerance to such stress factors, and expecting at the same time a better response to some phytosanitary problems.

Stress tolerance

Most commercial oil palm varieties (*Elaeis guineensis* Jacq.) are susceptible to abiotic stress, in particular caused by water (deficit or excess in the soil) and solar radiation and temperature (low or too high). However, there is still enough genetic variation in the species to select genotypes with tolerance to these extreme conditions (Rajanaidu et al. 1993).

The mechanisms that govern tolerance to poor soil aeration in oil palm have not been well studied, but it is expected to be similar to those determining the response to water deficit, that include special physiological and anatomical adaptations in stomata functioning and root system structure, among others (Umaña and Chinchilla 1989, Villalobos et al. 1990, 1991, 1992, Hossou et al. 1992, Nouy et al. 1999).

In 1994, a sample of ASD' genetic collection was planted in a region in Costa Rica with an accumulated annual water deficit of about 700 mm, which was exacerbated by strong winds. The same crosses were also planted in another site with no water deficit to compare growth and bunch yield in both conditions. The best response to water deficit expressed in part as fewer number of spear leaf accumulated at the end of the dried period was observed in the Angola, Tanzania (*ténera*) and Yangambi populations. On the other hand, the descendants of *dura* Deli lines combined with pollen from AVROS, Ekona and

[1] ASD Costa Rica, a.alvarado@asd-cr.com
[2] h.albertazzi@asd-cr.com
[3] Consultor para ASD, cmlchinchilla@gmail.com

Calabar origins were more susceptible. However, the Deli origin showed a higher degree of tolerance when crossed with Tanzania, Yangambi and La Mé pollen.

Extreme visual symptoms of water deficit (premature drying of lower leaves) in young palms was less common in the Bamenda and Angola lines and wild populations obtained from Malawi and Mobai. Initial bunch yields (first 24 months) in the Malawi origin and Bamenda and Tanzania progenies (and Mobai to a lesser degree) were the best. The descendants of the *dura* Deli and Tanzania (*dura*) lines were more susceptible, but differences were less notorious between male lines, where Mobai was the best (Alvarado and Sterling 2003).

Both precocity and initial bunch yields were negatively affected by water deficit in all commercial *dura*-Deli origins. However, Deli x La Mé and to a lesser extent, Deli x Yangambi, had a fair performance (Alvarado and Sterling 2003). Similar results were obtained by Hossou el al. (1992).

Villalobos and Rodriguez (1998) determined that Angola x Tanzania and Angola x La Mé had higher water potential at dawn and higher leaf specific weight under conditions of water deficit, which was accompanied by a better vegetative appearance and higher bunch load that other more susceptible varieties. A recent work by Reyes et al. (2013, in press) documented several physiological variables that were associated with water stress tolerance in Bamenda Ekona and Tanzania x Ekona.

The water deficit-low temperatures combined tolerance has been evaluated in derivates from wild introductions from the high lands in Cameroon (Bamenda: 900-1500 mosl, 5-6 months dry season and low solar radiation) and Tanzania (Kigoma: 850 mosl, minimum temperature 12°C and 5-6 months dry season). The commercial varieties Bamenda x AVROS, Bamenda x Ekona, Tanzania x AVROS and Tanzania x Ekona have performed very well in the high lands in Cameroon, Etiopia, Kenya, Malawi, Zambia and Ecuador (Alvarado and Sterling 2003, Richardson and Chavez 1986).

Whithin the Bamenda progenies some were highly precocious and showed tolerance to *Fusarium* wilt (Blaak and Sterling 1996, Chapman et al. 2003, Steele and Grifee 2001, FAO 2002). Other populations that have shown tolerance to abiotic stress were collected in Entebbe (Uganda) and Zambia (Kasemba, Nchelenge and Mulwe: 1000-1100 mosl, 1200 mm annual rainfall, 16°C, minimum temperature). Additional introductions came from Sierra Leone (Mobai) and the region of Kagoro, North of Malawi (500 mosl and low annual rainfall). Table 1 shows a summary of the origins of the germplasm collected by ASD in different regions.

Table 1. Altitude and rainfall in several regions of Africa where ASD collected wild oil palm genotypes

Country	Region	Altitude mosl*	Rainfall mm/year	Expected tolerance
Cameron	Bamenda	1600	2480	cold
Tanzania	Kigoma	880	960	cold, drought
Uganda	Entebbe	1100	1530	cold, drought
Zambia	Kawambwa	1300	1300	cold, drought
Malawi	Karonga	530	1180	drought
Sierra Leona	Kenema	60	970	drought

*mosl = meters over sea level

PC and stress tolerant varieties

Real causes of spear rots in oil palm are not well known and, no doubt, they are complex. Both severity and incidence are closely related to persistent stress conditions, particularly poor soil aeration followed (or preceded by) water deficit, low offer of photosynthetically active radiation and nutritional unbalances. Two or more of these factors combined have been always present in all sites where spear rots developed, independently of any pathogenic agent that aggravated the situation taking advance of the stressed palms.

ASD planted several field experiments in Costa Rica, Colombia and Ecuador to evaluate the performance of several stress tolerant varieties, and spear rot (PC) appeared in some of the sites. In all of these tests, it was clear a close correspondence between stress tolerance and a milder effect of PC in terms of incidence and severity (Chinchilla et al. 2006). PC tolerance was

defined according the following criteria: 1) delayed appearance of the disorder, 2) lower rate of increment in time, 3) lower final incidence, 4) less severe symptoms, and 5) faster recovery in terms of vegetative growth and effect on bunch yield. Such characteristics were showed by some Bamenda x Ekona and Tanzania x Ekona crosses and some others of Malawi origin. An example of these results appears in Table 2. The opposite situation was observed in some traditional varieties such as Deli x AVROS, which showed great susceptibility to PC and to abiotic stress. The susceptibility of this variety to PC and abiotic stress (water deficit, low solar radiation, poor soil aeration etc.) has been well documented in field experiments and commercial plantations (Chinchilla et al. 2006, 2009).

Table 2. PC incidence (%) in several oil palm progenies in the Atlantic coast of Costa Rica (palms 3-years old)

♀	AVROS	Ghana	Ekona	♂ La Mé	Mobai	Malawi	Mean
Deli	33.3	11.3	23.8		13.0		20.4
Deli/Tanzania	21.1	15.5	24.4				20.3
Deli/Angola	21.2		16.0	17.9			18.4
Deli/Angola/Ek.						3.6	3.6
Entebbe			7.3				7.3
Tanzania/AVROS						8.5	8.5
Zambia/AVROS	30.0						30.0
Bamenda	21.5		10.9				16.2
Mean	25.4	13.4	16.5	17.9	13.0	6.1	15.6

♀= mother palms; ♂= pollen source

A low rate of disease increment in time is a particularly important element in tolerance, and some crosses of Bamenda x Ekona clearly stood out in this respect (Table 3).

Table 3. PC incidence (%) during four surveys of a group of oil palm crosses

	Months			
	0	4	9	15
Deli x AVROS	1	4	12	33.3
Deli x Ghana	0	3.5	5	11.3
Deli x Ekona	1.5	3.5	7.4	23.8
Deli x Mobai	0	5.6	7.4	13
Deli/Angola/Ekona. x Malawi	0	0	0	3.6
Entebbe x Ekona	2	2	4	7
Bamenda x Ekona	0	0	0	10.9

Besides this, and as noted above, symptoms on these genotypes were milder and plants had the chance to recover, sometimes with comparatively little negative effect on yield (Table 4). In spite of this, the full expression of tolerance will only be achieved giving the best agronomic management, which includes among other things, good soil aeration and a balanced nutrition.

Table 4. Previous PC incidence and posterior yield in several oil palm varieties differing in their response of tolerance to the condition (7-year old palms)

	Healthy palms (%)	Bunches/palms
Deli x Ghana	50	4.9
Deli/Angola x Ekona	63	6.4
Deli/Tanzania x Ekona	50	5.4
Deli x AVROS	29	3.9
Deli x Nigeria	67	6.1
Bamenda x Ekona	58	7.1

Figure 1 shows the response in severity of PC symptoms in four varieties planted on the Pacific coast of Costa Rica, where Bamenda x Ekona and Tanzania x Ekona showed a response of tolerance to the disease.

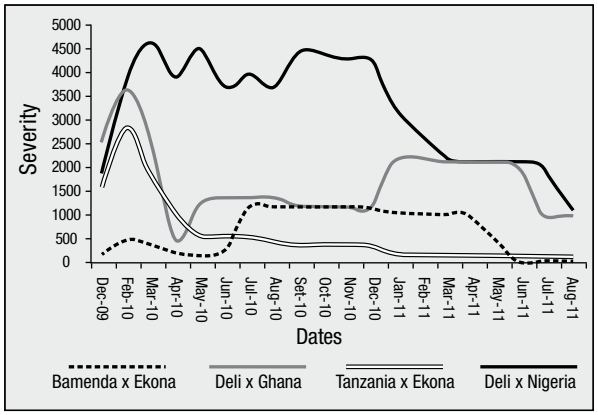

Fig.1. Changes in symptom severity of PC in four oil palm varieties differing in tolerance to the condition

Stress tolerance and *fusarium* wilt

Fusarium wilt caused by the fungus *Fusarium oxysporum* f.sp. *elaeidis* is considered a threat to the oil palm industry in several countries of West Africa. In America, this pathogen has been found in Pará (Brasil) and probably Quinindé (Ecuador) (Franqueville and Diabaté 2004). The behavior of the pathogen in America is really interesting: the

appearance of the disease on the spots mentioned created great expectation on the potential impact on the industry due to a potentially aggressive dissemination of the problem, but nothing notable occurred.

A strong environmental effect on incidence (disease progress in time) and symptom severity of *Fusarium* wilt is well documented in the literature (Aderungboye 1982, Ollagnier and Renard 1976, Prendergast 1957, Renard and Quillec 1983, Oritsejafor 1986; Renard and Franqueville 1991). Disease incidence increased after prolonged dry periods and the problem was more prevalent in those regions of Africa where the dry period was rather long. Disease problems were worse if a period of water deficit coincided with very high temperatures (which may have caused extensive damage to the superficial root system), the soils had a low water retention capacity (which worsened the water deficit) and soil potassium was also low (which negatively affect the plant capacity to cope with water deficit). Disease was also worst in soil with poor soil aeration (which also causes damage to the root system, increasing the susceptibility to water deficit during the next dry season)

Disease incidence (and probably symptom expression) was higher when fertilization was suspended, too low in quantity or nutrients were unbalanced, particularly the N/K ratio. All these stress factors are common in most oil palm plantations in Africa (many of them being just groves of old *dura* palms) where the disease is prevalent.

There is tolerance to *Fusarium* wilt among oil palm planting materials (Ollagnier and Renard 1976, Franqueville and Renard 1990). The tolerance response can be evaluated at the nursery stage, and the response corresponds with field performance of each particular genetic cross; so tolerant varieties can be selected at an early stage (Prendergast 1963; Renard et al. 1980; Franqueville and Renard 1990). In spite of a proven inoculation methodology at the prenursery stage, tolerance seems to be associated with many genes (that may also determine the response to abiotic stress), which impedes selecting totally resistant varieties.

ASD evaluated the response to *Fusarium* wilt in a group of 37 crosses (including several selfings) in Para, Brazil, where the diseased was apparently introduced from West Africa. Some of the crosses evaluated in Brazil were also planted in Costa Rica in an area affected by PC several years later, which permitted to evaluate the response to this problem as well (Table 5) and compare with the results from the *Fusarium* test (Chinchilla 1986).

Table 5. An example of the response to *Fusarium oxysporum* f.sp. *elaeidis* inoculation at the prenursery stage and to PC in adult palms

	Response to PC (%)			Response to *Fusarium*[1] wilt
	Healthy palms	Mild symptoms	Severe symptoms	
Ekona x Ekona 1	32.2	12.0	22.0	0.44
Ekona x Ekona 2	16.7	8.3	71.7	0.70
Ekona: autofecundación 1	56.7	11.7	8.3	1.60
Ekona: autofecundación 2	45.0	30.0	18.3	1.90

[1] Tolerance index: % of healthy looking palms and good appearance in a particular cross divided by the number of healthy palms and good looking in the whole test (37 crosses)

Conclusions

ASD has an ample oil palm genetic pool, with materials collected from many geographical areas varying in environmental conditions, including those with important climatic limitations such as low temperatures, water deficit and low solar radiation. These materials have been improved and crossed to obtain commercial varieties that can adapt to many conditions. An important part in oil palm breeding is to evaluate the performance of these varieties in areas with such climatic limitations and where some important phytosanitary problems are present, such as PC (spear rots). A sample of crosses was also evaluated in their response to *Fusarium* wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *elaeidis*). Combining the results from several of these field experiments it was possible to have data on the response of particular crosses to abiotic stress, PC and *Fusarium* wilt.

The results of such an exercise have been encouraging, since it was detected a clear association between these elements, where the probability to finding tolerance to PC and *Fusarium* wilt was larger in stress tolerant genotypes. This was somehow expected since there was previous evidence relating PC and *Fusarium* wilt incidence and severity with abiotic stress. Furthermore, it was also evident that the response in tolerance (or susceptibility) of these genotypes during the juvenile phases (prenursery o nursery) could be associated with the response in adult palms.

These findings open the opportunity for selecting mother palms and pollen sources for creating new varieties showing good adaptation to some extreme environmental conditions and may perform better when exposed to some phytosanitary problems that may cause important negative impacts on yield, and may even jeopardize the mere existence of traditional varieties. Such stress tolerant varieties may even show tolerance to other diseases such as 'basal wet rot' (bacteria?), 'charcoal basal rot' (*Ustulina deusta*), upper stem rot (unknown etiology), 'annular spot' (virus?), and 'basal rot' (*Ganoderma* sp). Nevertheless, the best tolerance response of any of these varieties to any of these phytosanitary threats (and the highest possible yields) could only be obtained if giving the best agronomic management, where good soil aeration and a balanced nutrition are fundamental among other things.

Literature

Aderungboye F. O. 1982. Significance of vascular wilt in oil palm plantations in Nigeria. The Oil Palm in the eighties. The incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur. Pp. 475 484.

Alvarado A. Sterling F. 2003. Desarrollo de variedades de palma de aceite para condiciones climáticas extremas. XIV Conf. Int. Palma Aceite. FEDEPALMA, Cartagena, Colombia.

Blaak G., Sterling F. 1996. The prospects of extending oil palm cultivation to higher elevations through using cold-tolerant plant material. The Planter (Kuala Lumpur), 72:645-652.

Chapman K., Escobar R., Griffee P. 2003. Cold tolerant or altitude adapted oil palm hybrid development initiatives in the Asia/Pacific region. Au. J. T. 6(3):1-5.

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*. Palmas. 28 (No. especial): 273-284.

Chinchilla C. 2009. ¿Son los materiales de siembra comerciales de palma aceitera la razón principal de las explosiones de pudriciones de cogollo en América tropical, o solo parte de la ecuación? Tierra Palmera (Colombia), 29: 30-34

Chinchilla C. 1986. Evaluación de cruces tolerantes a marchitez por *Fusarium* en la fase de vivero en Para (Brasil). ASD de Costa Rica. Informe interno. 23 pp.

Franqueville H. and Renard J. L. 1990. Improvement of oil palm vascular wilt tolerance. Results and development of the disease at the R. Michaux plantation. Oléagineux. 45(10): 399- 405.

Franqueville H., Diabaté S. 2004. Status on oil palm vascular wilt. MPOB, Inter. Conf. on Pests and Diseases of Importance to the Oil Palm Industry. Kuala Lumpur. 7 p. (unedited).

FAO. 2002. Oil palm in western Kenya. Agriculture 21 Magazine, FAO. 3 p.

Houssou M., Cornaire B., Omore A., Adje J. 1992. Selection pour la résistance á la sécheresse du palmier á huile. ISOPB. Montpellier, France.

Nouy B., Baudouin L., Djegui N., Omore A. 1999. Le palmier a huile en conditions hydriques limitâtes. Plantations, recherche, développement. pp 31-45.

Ollagnier R, Renard J.L. 1976. The influence of potassium on the resistance of oil palms to *Fusarium oxysporum*. Oléagineux. 31 (5): 203 209.

Oritsejafor J. 1986. Weed hosts of F. *oxysporum* f. sp. *elaeidis*. Oléagineux. 4 (1): 1 7.

Prendergast A. G. 1957. Observations on the epidemiology of vascular wilt disease of the oil palm. J. W. Afr. Inst. Res. Oil Palm. 2, 147-175.

Prendergast A.G. 1963. A method of testing oil palm progenies at the nursery stage for resistance to vascular wilt disease caused by *Fusarium oxysporum*. J. West Afr. Inst. Oil Palm Res. 4 (14): 156 175.

Rajanaidu N., Jalani S., Rao V., Kushairi A. 1993. Genotype-environment interaction (GE) studies in oil palm (*Elaeis guineensis*) progenies. In Proc. 1991 ISOPB Int. Worshop on genotype interaction studies in perennial tree crops. Pp 12-32. Palm Oil Res Inst Malysia, Kuala Lumpur.

Renard J.L., Noriet J.M., Meunier J. 1980. Sources and ranges of resistance to *Fusarium* wilt in the oil palm (*E. guineensis*) and *E. melanococca*. *Oleaginéux*. 35 (8 9): 387 393.

Renard J.L., Quillec G. 1983. *Fusarium* and replanting. Elements to be considered when replanting oil palm in a *Fusarium* zone in West Africa. Oléagineux. 38 (7): 421 427.

Renard J.L., Franqueville H. 1991. Effectiveness of crop techniques in the integrated control of oil palm vascular wilt. Oléagineux. 46(7):255-265.

Richardson D., Chavez C. 1986. Oil palm germplasm of Tanzanian origin. Turrialba (Costa Rica), 36(4): 493-498.

Steele P., Griffee P. 2001. Western Kenya and the potential for oil palm. FAO Int. Rep. 7 p.

Umaña C., Chinchilla C. 1989. Sintomatología asociada al déficit hídrico en palma aceitera. Bol. Tec. OPO-UB 3(3): 50-54.

Villalobos E., Chinchilla C., Echandi C., Fernández O. 1991. Short term responses of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) to water deficit in Costa Rica. PORIM Int. Conf, Kuala Lumpur, Malaysia.

Villalobos E., Rodríguez W. 1998. Evaluación de la capacidad de asimilación del carbón, de la eficiencia en el uso del agua y de la resistencia a la sequía, en progenies de palmas aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Costa Rica. Univ. Costa Rica, Informe de Proyecto VI-734-97-16, CIGRAS, 1998. 32 p.

Villalobos E., Umaña C., Chinchilla C. 1992. Estado de hidratación de la palma aceitera, en respuesta a la sequía. Oléagineaux 47(5):217-223.

Villalobos E., Umaña C., Sterling F. 1990. Determinación del contenido relativo de agua en progenies de palma aceitera (*Elaeis guineensis*), durante la época seca en Quepos, Costa Rica. Agronomía Costarricense 14(1): 73-78.

Rendimiento y crecimiento de plantas jóvenes de palma aceitera en diferentes estados de severidad y recuperación de pudriciones del cogollo

Floria Ramírez[1], *Randall Torres*[2], *Carlos Chinchilla*[3]

Resumen

Los componentes del rendimiento (número y peso promedio de los racimos por planta) fueron determinados rutinariamente como parte de un experimento de fertilización plantado en 1997, en un área que fue afectada por la condición localmente conocida como flecha seca (análoga a la pudrición del cogollo o PC, pero en donde las palmas afectadas eventualmente se recuperan en su mayoría) en la costa del Pacífico Central de Costa Rica. El problema apareció en el segundo año después de sembradas las palmas y alcanzó la máxima incidencia durante el 2000.

Las palmas se separaron en categorías, según la edad en la que aparecieron los primeros síntomas, la duración del ataque y la fecha (año) de la recuperación.

En general, se observó que las plantas con un crecimiento vegetativo menos vigoroso parecían ser más propensas a mostrar síntomas en un futuro. En todas las palmas afectadas, el crecimiento fue afectado en forma negativa.

El rendimiento de racimos de fruta fue similar en palmas que presentaron los primeros síntomas en un año en particular y las que permanecieron sanas en ese periodo. No obstante, al año siguiente, las palmas enfermas mostraron una reducción en el número de racimos producidos, la cual fue aún más notoria posteriormente.

El peso promedio del racimo fue más afectado en las palmas en que los síntomas aparecieron más tempranamente. Las palmas que se enfermaron más tardíamente (año 2000), tuvieron un peso del racimo similar al de palmas que se habían mantenido sanas desde el 98. También fue notorio que el número de racimos por planta fue incluso mayor en estas palmas que se enfermaron en forma más tardía.

Las palmas cuya recuperación tomó más tiempo (con síntomas durante tres años) fueron las más afectadas en su rendimiento global acumulado.

La información compilada indica que la aparición temprana (palma joven) del desorden tiene un efecto importante sobre el rendimiento inicial; lo cual afecta negativamente el flujo de caja en las primeras etapas. No obstante, debido a que el peso del racimo de palmas jóvenes es menor, el impacto de la PC sobre el rendimiento acumulado en la edad adulta podría ser proporcionalmente menor en aquellas palmas que se recuperan.

Introducción

Los datos de producción (semanal), crecimiento (cinco mediciones) y estado sanitario fueron tomados en 895 palmas individuales de la variedad Deli/Kigoma x Ekona, las cuales formaban parte de un experimento sobre nutrición plantado en 1997 en la costa pacífica central de Costa Rica.

La condición conocida como '*flecha seca*' en Costa Rica (la cual es similar a la llamada '*pudrición del cogollo*' o PC en Sur América) no es letal y las plantas normalmente se recuperan (Chinchilla y Durán 2005).

[1] Compañía Palma Tica, framirez@numar.net
[2] Compañía Palma Tica, rtorres@numar.net
[3] Consultor para ASD Costa Rica, cmlchinchilla@gmail.com

La severidad de los síntomas y el tiempo de recuperación, dependen de las mejoras agronómicas que se realicen (Chinchilla y Duran 1999). El nombre de flecha seca hace alusión a un síntoma que aparece frecuentemente, es especial durante la época seca, y que corresponde al secamiento de las hojas flechas (hojas sin abrir) sin pudriciones aparentes. Al igual que para el caso de la PC, la etiología del trastorno es compleja, sin que exista un agente patógeno particular que permita explicar toda la gama de síntomas que pueden presentarse (Chinchilla 2008).

Se hizo una comparación del crecimiento vegetativo y la producción antes y después de la aparición de los síntomas, incluyendo la etapa de recuperación de las palmas. Las palmas se dividieron en ocho clases, según su estado al final del año 2001 (Cuadro 1). Dado que las evaluaciones disponibles sobre incidencia de la enfermedad eran anuales, no se pudo asociar de manera exacta la aparición de los síntomas de una planta en particular con su rendimiento. No obstante, conociéndose que la incidencia de la 'flecha seca' alcanzaba un máximo cada año durante los meses más lluviosos (setiembre-octubre), el dato de incidencia de diciembre reflejaba de alguna manera el comportamiento promedio de todas las plantas.

Cuadro 1. Número de palmas sin síntomas, afectadas con 'flecha seca' (PC), y recuperadas, en cuatro fechas. Costa Pacífico central, Costa Rica

Año	Palmas sanas	Nuevos casos	Casos anteriores [1]	Recuperadas [2]
1998	862	33	-	-
1999	501	361	33 (1999)	-
2000	82	419	361(1999)	-
			33(1998)	-
2001	34 (S98-S01)	48 (FS01-FS01)	219(2000)	200
			(FS00-FS01)	(FS00-REC01)
			127(1999)	234
			(FS99-FS01)	(FS00-REC01)
			10(1998)	23
			(FS98-FS01)	(FS00-REC01)

1. En paréntesis, al lado, el año en que esas palmas aparecieron con síntomas. Abajo en paréntesis el estado de las palmas en el 2001 y su historial previo. Ej. (FS98-FS01) indica que las palmas se enfermaron en 1998 y continuaban con síntomas en el 2001.
2. FS00-REC01: enferma en el 2000 y recuperada en el 2001.

Rendimiento

Los dos componentes del rendimiento (número y peso de los racimos) fueron afectados en forma negativa por la presencia de la enfermedad (Fig. 1 y Cuadro 2). Para el mismo año en que las palmas se diagnostican como enfermas, no se observan grandes diferencias en producción con respecto a las palmas sanas. No obstante, el efecto negativo fue claro al año siguiente (Cuadro 2)

La reducción en el número de racimos por planta se presentó un año después de que se diagnosticaron las plantas como enfermas, y fue aún mayor dos años después. Inicialmente el efecto se asoció con una mayor tasa de aborto y falla de los racimos. Sin embargo, debe considerarse que a pesar de que los síntomas visibles de la enfermedad se expresaron en un momento determinado, las palmas pudieron haber estado afectadas de alguna manera desde un tiempo anterior. La disminución en el número de racimos (hasta 28%), se considera consecuencia de un efecto sobre la razón de sexo (anterior a la aparición visible de los síntomas en en el follaje).

En la figura uno es posible separar las plantas según el efecto de la enfermedad sobre el rendimiento acumulado de fruta. El grupo de mayor producción estuvo formado por las 34 palmas que se mantuvieron sanas durante todo el periodo de evaluación. El siguiente grupo lo forman las palmas que no mostraron síntomas sino hasta en el año 2001, y el tercer grupo lo forman las plantas que tuvieron un rendimiento intermedio. Estas últimas plantas se enfermaron en el año 2000, y aquellas que se habían recuperado de los síntomas mostraron una leve ventaja sobre las que no lo habían hecho para esa fecha (Figs. 1 - 3).

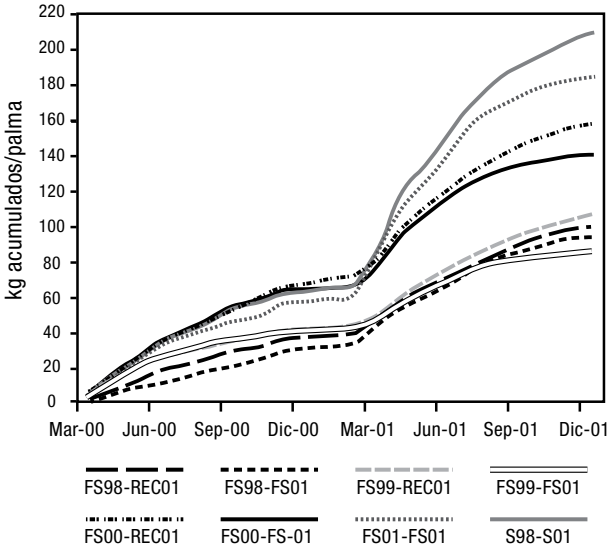

Fig. 1 Producción acumulada (kg/palma) entre marzo del 2000 y diciembre de 2001en ocho clases de palmas según el año en que se enfermaron y recuperaron de flecha seca. FS98-REC01: plantas con síntomas en el 98 y recuperadas en el 2001; FS98-FS0: palmas que se enfermaron en el 98 y continuaban enfermas en el 2001.

Otro grupo con menor rendimiento acumulado estuvo formado por las palmas que se enfermaron en el 98 y el 99, independientemente de que se hubieran recuperado o no en el 2001. Sin embargo, de las palmas enfermas en el 99, las recuperadas produjeron más que las que continuaron enfermas (P=0.006). La diferencia se debe a 24% de aumento en el número de racimos (P=0.103) y 33% de incremento en el peso promedio de racimos (P<0.001).

Aparentemente la recuperación del potencial productivo se inició antes de que fueran evidentes las señales de recuperación de los síntomas en el follaje. Por ejemplo, un grupo de palmas, 65% de las cuales se enfermaron en el 99 y se observaron recuperadas en diciembre del 2001, incrementaron la producción a partir de junio del 2001. De las palmas que se encontraron enfermas en diciembre del 2000, 48% empezó la recuperación aparente a partir de julio del 2001.

Cuadro 2. Variables del rendimiento promedio para cada clase de palmas según el comportamiento del trastorno de la 'flecha seca' o PC durante los años 2000 y 2001

	2000			2001			Cambio kg/racimo 2000-01
Clase	Racimos/ palma	kg/ palma	kg/ racimo	Racimos/ palma	kg/ palma	kg/ racimo	
Sanas	14.85	63.40	4.31	20.24	147.34	7.59	81%
FS01-FS01	14.77	57.91	4.02	17.90	128.13*	7.55	98%
FS00-FS01	16.00	64.82	3.97	14.50**	76.76**	5.08**	32%**
FS99-FS01	12.06*	41.65**	3.22**	9.47**	43.63**	3.81**	18%**
FS98-FS01	8.90**	30.55**	2.98**	12.90**	64.05**	4.37**	75%
FS98-REC01	10.35*	37.67*	2.91**	12.17**	63.07**	4.52**	50%
FS99-REC01	12.20*	42.19**	3.30**	11.77**	63.56**	5.06**	59%*
FS00-REC01	16.18	68.08	4.14	16.02**	90.73**	5.75**	46%*

*Prueba de t: *P<0.05, **P<0.001*
FS99-REC01: palmas que aparecieron con síntomas de flecha seca en el año 1999 y recuperadas en la evaluación del 2001.

Las plantas recuperadas en el 2001 pueden dividirse en tres grupos que se recuperaron en los años 98, 99 y 2000. El peso promedio del racimo fue más afectado en las plantas que aparecieron enfermas más tempranamente (Cuadro 3). Las palmas que no se enfermaron sino hasta en el año 2000, tuvieron un peso promedio del racimo similar al de palmas que se mantuvieron sanas desde el 98. El número de racimos por planta fue incluso un poco mayor en esas plantas que enfermaron en el 98.

Esta información no apoya la idea de que sería preferible que la enfermedad afectase a las palmas en una etapa temprana de su desarrollo. Los resultados, sin embargo, son consistentes con el hecho de que las primeras etapas del establecimiento de las palmas en el campo determinan de forma crucial su desarrollo vegetativo y potencial de producción futuro.

Durante el segundo año principalmente, se da una absorción muy rápida de nutrientes (principalmente nitrógeno y potasio) que no se observa en ninguna otra etapa en la vida de la planta. Esto podría indicar que el daño causado en palmas jóvenes (pre-productivas) podría no ser del todo revertido aún con el mejor manejo agronómico posterior. Sin embargo, la producción inicial es realmente una fracción pequeña del potencial que tiene la planta para el resto de su vida, ya que la producción aumenta, hasta alcanzar valores máximos después de 4-6 años de producción (con el aumento del peso del racimo), de forma que se podría presentar un efecto de compensación importante de la pérdida de potencial productivo con la aparición temprana de la enfermedad.

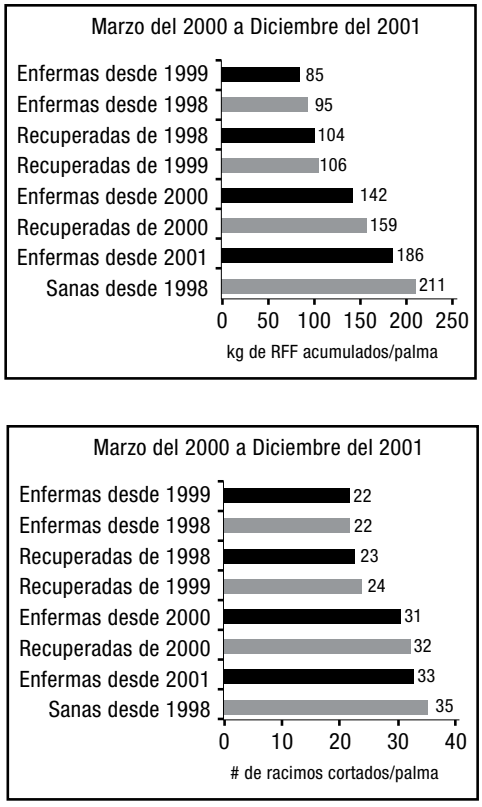

Fig. 2. Rendimiento acumulado (número de racimos y kilogramos por palma), entre marzo del 2000 y diciembre del 2001 para cada grupo palmas según su reacción a la flecha seca.

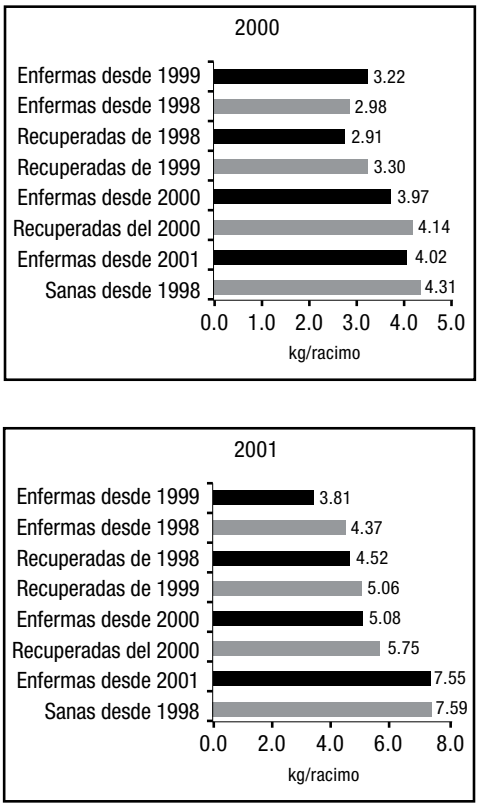

Fig. 3. Peso promedio de racimos para los años 2000 y 2001 de las ocho clases según su reacción a la flecha seca.

Crecimiento vegetativo

El valor de la sección transversal del peciolo (*PxS*), el cual está relacionado con el vigor de la palma (Corley and Tinker 2003) fue una de las variables más afectadas en forma negativa por la flecha seca y las secuelas de un ataque sobre esta variable se mantuvieron por al menos un año. Previo a la aparición de los síntomas, las palmas que se enfermaron tenían en promedio un valor del *PxS* menor que las palmas que no enfermaron. Las palmas que enfermaron en el 2000, y recuperaron en el 2001 tenían un valor de *PxS* mayor (P<0.01) que las que continuaron enfermas; las enfermas en el 1999 presentaron una tendencia similar. Estas observaciones dan soporte a la idea de que las palmas más propensas a presentar síntomas son aquellas sometidas a algún tipo de estrés que afecta su crecimiento y vigor; lo cual ocurre aún antes de presentarse los primeros síntomas visibles de la enfermedad (Albertazzi et al. 2005).

Un año después de detectarse la enfermedad, el área foliar estimada de las palmas afectadas fue significativamente menor que la de las palmas sanas. Las palmas enfermas desde 1998 fueron la excepción, pues desde el inicio presentaban un área foliar menor; lo cual también es una indicación de que las plantas sometidas con anterioridad a algún tipo de estrés son las primeras en mostrar síntomas. Las palmas recuperadas en el 2001 tenían un área foliar mayor que las que aún se mantenían enfermas en esa fecha.

El comportamiento del largo del raquis fue similar al del área foliar y la *PxS*, y fue evidente que las plantas con menor crecimiento inicial fueron afectadas más tempranamente. El diámetro de tronco también parece ser afectado por la enfermedad, pero las diferencias no fueron muy evidentes, debido tal vez a la corta edad de las palmas.

Cuadro 3. Sección transversal del peciolo (*PxS*), área foliar, largo de raquis y diámetro de tronco promedio para cada clase de palmas según su reacción al trastorno de la flecha seca

	PxS (cm^2)					Área foliar (m^2)				
Clase	Oct 98	May 99	Oct 99	Ago 00	Mar 01	Oct 98	May 99	Oct 99	Ago 00	Mar 01
Sanas	5.08	3.81	5.08	7.11	9.06	8.57	11.11	17.2	25.65	28.56
FS01-FS01	4.82	3.45*	4.82	6.75	9.08	8.15	10.52	16.99	25.58	28.23
FS00-FS01	4.75	3.51*	4.75	6.81	7.2**	8.56	11.05	17.48	25.49	23.48*
FS99-FS01	4.75	3.50*	4.75	6.18	6.38**	8.91	11.14	17.42	21.46*	20.69**
FS98-FS01	4.32*	3.14*	4.32*	6.74	9.22	7.26*	8.43*	12.02*	20.52	28.66
FS98-REC01	4.23*	3.40*	4.23*	5.62*	6.69**	7.79	10.57	14.79*	20.24*	22.67*
FS99-REC01	4.78	3.62	4.78	5.23**	6.72**	9.07	11.72	17.81	20.31*	23.61**
FS00-REC01	4.95	3.64	4.95	6.86	7.57**	9.09	11.74	18.07	27.02	24.73*
	Largo de raquis (cm)					Diámetro del tronco (cm)				
Clase	Oct 98	May 99	Oct 99	Ago 00	Mar 01	Oct 98	May 99	Oct 99	Ago 00	Mar 01
Sanas	202	210	301	376	430	34.3	40.4	49.4	67.6	64.5
FS01-FS01	192*	204	295	377	420	34.9	40.6	50.3	66.1	66.4
FS00-FS01	194	210	300	377	373**	34.8	40.3	50.6	65.0*	60.8*
FS99-FS01	195	210	296	315*	334**	34.8	41.0	49.8	61.9**	58.2**
FS98-FS01	180*	185*	242**	333*	389	31.2	38.9	44.9	59.4*	58.3
FS98-REC01	188*	201	262*	302**	357**	32.7	37.5	45.0*	54.8**	54.2**
FS99-REC01	196*	214	297	305**	352**	35.6	40.5	50.4	61.6**	58.1**
FS00-REC01	200	214	304	374	384**	35.5	41.0	50.8	66.7	62.3

** Diferente de las sanas según prueba de T: *P<0.05, **P<0.001*

Conclusiones

El desorden del crecimiento conocido como 'pudrición del cogollo' en América del Sur y como 'flecha seca' en Costa Rica, aparece con niveles de incidencia y severidad muy diferentes en lotes y plantas individuales. En Costa Rica este desorden no es letal y las plantas se recuperan; no sin antes sufrir un efecto negativo sobre los componentes del rendimiento (peso y número de racimos), cuya magnitud depende de la edad a la cual aparecen los síntomas y la severidad de los mismos. Para el mismo año en que las palmas son diagnosticadas como enfermas, no se observaron grandes diferencias en producción con respecto a las palmas sanas, pero el impacto negativo fue claro al año siguiente. El efecto fue el resultado combinado del aborto y falla de racimos, pero también fue evidente que la razón de sexo fue afectada eventualmente; lo cual sucedió incluso antes de que los primeros síntomas del desorden sean evidentes.

La idea de que diferentes tipos de estrés son factores importantes que predisponen al desorden se vio fortalecida por el hecho de que fueron las plantas con menos vigor las que tenían mayor probabilidad de mostrar síntomas. Este desarrollo vegetativo inferior se reflejó en una menor *PXS* (sección transversal del peciolo) y menor longitud del raquis, lo cual pudo ser observado aún antes que aparecieran los primeros síntomas visibles del trastorno ('amarillamiento' acompañados o no de secamientos y pudriciones).

La aparición de los síntomas en palmas jóvenes afecta sin duda su potencial de producción. No obstante, la producción inicial es realmente una fracción pequeña del potencial que tiene la planta para el resto de su vida, ya que el peso promedio del racimo se incrementa con la edad lo cual tiene un efecto compensatorio cuando la enfermedad aparece en una etapa temprana en la vida de la planta. Cuando se ofrece el mejor manejo agronómico posible a plantas jóvenes afectadas, se puede reducir la severidad de los síntomas y acelerar el proceso de recuperación, con lo cual se reduce el efecto negativo posterior.

Literatura

Albertazzi H., Bulgarelli, J., Chinchilla C. 2005. Onset of spear rot symptoms in oil palm and prior (and contemporary) events. ASD Oil Palm Papers, 28: 21-41.

Corley R., Tinker P. 2003. The oil palm. Oxford Blackwell Science, Blackwell Publishing Company. 562 p.

Chinchilla C, 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. 2008. The many faces of spear rots in oil palm: the need for an integrated management approach. ASD Oil Palm Papers, 32: 1-25.

Yield and growth of young oil palm plants in different states of severity and recovery from spear rots

Floria Ramírez[1], *Randall Torres*[2], *Carlos Chinchilla*[3]

Abstract

The components of yield (number and average weight of bunches per plant) were routinely determined as part of a fertilization experiment planted in 1997 on the Central Pacific coast of Costa Rica. This area was affected by a condition locally known as '*flecha seca*'; which is analogous to spear rot (or PC: '*pudrición del cogollo*' in South America). However, most of the palms affected by '*flecha seca*', eventually recover. The problem appeared in the second year after the palms were planted, reaching peak incidence in 2000.

The palms were separated into categories according to the age at which symptoms first appeared, the duration of the attack and the date (year) of recovery.

In general, plants with less vigorous vegetative growth appeared to be more likely to show symptoms in the future. Growth was negatively affected in all palms with the disorder.

The yield of fruit bunches was similar in palms that showed the first symptoms in a particular year and those that remained healthy in that period. However, the next year, the ailing palms showed a reduction in the number of bunches produced, which became even more pronounced later. Average bunch weight was more affected in palms whose symptoms appeared earlier. The palms that became ill later on (in 2000) had bunch weights similar to palms that had remained healthy since 1998. The number of bunches per plant was notably greater in palms that became ill at a later point.

The palms whose recovery took more time (with symptoms for three years) were the ones most affected in their overall accumulated yields.

The information compiled indicates that the early onset of the disorder (in young palms) has a major effect on initial yield and negatively affects cash flow in the early stages. However, since bunch weight is lower for young palms, the impact of spear rot on accumulated yield at the adult age could be proportionally lower in those palms that recover.

Introduction

Production data (weekly), growth (five measurements) and health status were taken on 895 individual palms of the Deli/Kigoma x Ekona variety, which formed part of an experiment on nutrition planted in 1997 on the central Pacific coast of Costa Rica.

The condition known as *flecha seca* in Costa Rica (which is similar to the condition called *pudrición del cogollo* or PC in South America) and spear rot in English, is not lethal and the plants usually recover (Chinchilla & Durán 2005).

The severity of the symptoms and recovery time depend on the agronomic improvements implemented (Chinchilla & Duran 1999). The common name flecha seca (dry spear) alludes to a symptom that occurs frequently, especially during the dry season, which corresponds to the drying of the spear leaves (unopened leaves) without apparent rot or decay. As in the case of spear rot, the etiology of the disorder is complex, without any particular pathogenic agent that would explain the full range of symptoms that can occur (Chinchilla 2008).

[1]Compañía Palma Tica, framirez@numar.net
[2]Compañía Palma Tica, rtorres@numar.net
[3]Consultan for ASD Costa Rica, cmlchinchilla@gmail.com

A comparison was made of vegetative growth and production before and after the onset of symptoms, including the recovery phase of the palms. The palms were divided into eight classes according to their status at the end of 2001 (Table 1). Given that the evaluations available on the incidence of the disease were annual, the appearance of symptoms in one plant in particular could not be precisely associated with its yield. However, knowing that spear rot incidence peaks each year during the rainiest months (September-October), the incidence data for December in some way reflected the average behavior of all the plants.

Table 1 Number of palms without symptoms, affected with spear rot, and recovered, on four dates. Central Pacific coast, Costa Rica

Year	Healthy palms	New cases	Previous cases [1]	Recovered [2]
1998	862	33	-	-
1999	501	361	33 (1999)	-
2000	82	419	361(1999)	-
			33(1998)	-
2001	34 (S98-S01)	48 (FS01-FS01)	219(2000)	200
			(FS00-FS01)	(FS00-REC01)
			127(1999)	234
			(FS99-FS01)	(FS00-REC01)
			10(1998)	23
			(FS98-FS01)	(FS00-REC01)

1 The year the palms showed symptoms is given in parentheses. Beneath, the status of the palms in 2001 is given in parentheses with their prior history. For example: (FS98-FS01) indicates that the palms became ill in 1998 and continued to have symptoms in 2001. 2 FS00-REC01: became ill in 2000 and recovered in 2001.

Yield

The two components of yield (number and bunch weight) were negatively affected by the presence of the disorder (Fig. 1 and Table 2). In the same year that the palms were diagnosed as diseased, no large differences were seen in production with respect to healthy palms. However, negative effects were evident in the following year (Table 2).

The reduction in the number of bunches per plant occurred one year after the plants were diagnosed as diseased and they were even more reduced two years later. Initially the effect was associated with higher rates of abortion and bunch failure. However, it should be noted that even though the visible symptoms of the disease are expressed at a given time, the palms could somehow have been affected from an earlier point. The reduction in the number of bunches (up to 28%) is considered a consequence of an effect on the sex ratio (long before the onset of visible symptoms on the foliage).

In Figure 1 the palms are separated according to the effect of the disease on accumulated fruit yield. The most productive group consisted of the 34 palms that remained healthy throughout the evaluation period. The next group contained the palms that did not show symptoms until 2001, and the third group consisted of plants that had intermediate yields. These latter plants became ill in 2000, and those that had recovered from the symptoms showed a slight advantage over those that had not done so by that time (Figs. 1 – 3).

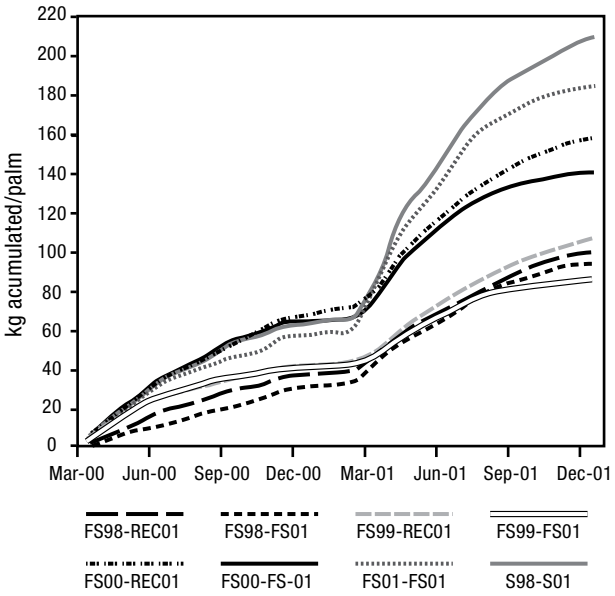

Fig. 1 Accumulated production (kg/palm) between March 2000 and December 2001 in eight classes of palms according to the year in which they became ill and recovered from spear rot. FS98-REC01: plants with symptoms in 1998 and recovered in 2001; FS98-FS0: palms that became ill in 1998 and remained ill in 2001.

Another group with low accumulated yield consisted of palms that became ill in 1998 and 1999, whether they had recovered or not in 2001. However, of the palms that had the disorder in 1999, the recovered ones produced more than those that continued to be diseased (P=0.006). The difference is due to a 24% increase in the number of bunches (P=0.103) and a 33% increase in average bunch weight (P<0.001).

Apparently the recovery of productive potential began before there were obvious signs of recovery from symptoms on the foliage. For example, one group of palms, 65% of which were diseased in 1999 and seen to be recovered in December 2001, increased production starting in June 2001. Of the palms that were found with the disorder in December 2000, 48% began to undergo apparent recovery starting in July 2001.

Table 2. Average yield variables for each class of palms according to the behavior of spear rot disorder for the years 2000 and 2001.

	2000			2001			Change kg/bunch 2000-01
Class	Bunches/ palm	kg/ palm	kg/ bunch	Bunches/ palm	kg/ palm	kg/ bunch	
Healthy	14.85	63.40	4.31	20.24	147.34	7.59	81%
FS01-FS01	14.77	57.91	4.02	17.90	128.13*	7.55	98%
FS00-FS01	16.00	64.82	3.97	14.50**	76.76**	5.08**	32%**
FS99-FS01	12.06*	41.65**	3.22**	9.47**	43.63**	3.81**	18%**
FS98-FS01	8.90**	30.55**	2.98**	12.90**	64.05**	4.37**	75%
FS98-REC01	10.35*	37.67*	2.91**	12.17**	63.07**	4.52**	50%
FS99-REC01	12.20*	42.19**	3.30**	11.77**	63.56**	5.06**	59%*
FS00-REC01	16.18	68.08	4.14	16.02**	90.73**	5.75**	46%*

*t-test: *P<0.05, **P<0.001*
FS99-REC01: palms that had spear rot symptoms appearing in 1999 that were recovered in the 2001 evaluation.

The plants recovered in 2001 can be divided into three groups that recovered in 1998, 1999 and 2000. Average bunch weight was most affected in plants that appeared ill earlier (Table 3). The palms that did not become ill until 2000 had an average bunch weight similar to palms that had remained healthy since 1998. The number of bunches per plant was even slightly higher in those plants that became ill in 1998.

This information does not support the idea that it would be preferable if the disease affected palms at an early stage of their development. The results, however, are consistent with the fact that the early stages of the establishment of the palms in the field crucially determine their vegetative development and future production potential.

Primarily during the second year, very rapid nutrient absorption occurs (mainly nitrogen and potassium) that is not seen at any other stage in the life of the plant. This may mean that the damage caused in young (pre-production) palms cannot be fully reversed even with the best agronomic management later. However, initial production is really only a small fraction of the plant's potential for the rest of its life, since production increases and reaches peak values after 4-6 years of production (with increasing bunch weight); thus a significant compensation effect could occur for the loss of productive potential with the early onset of disease.

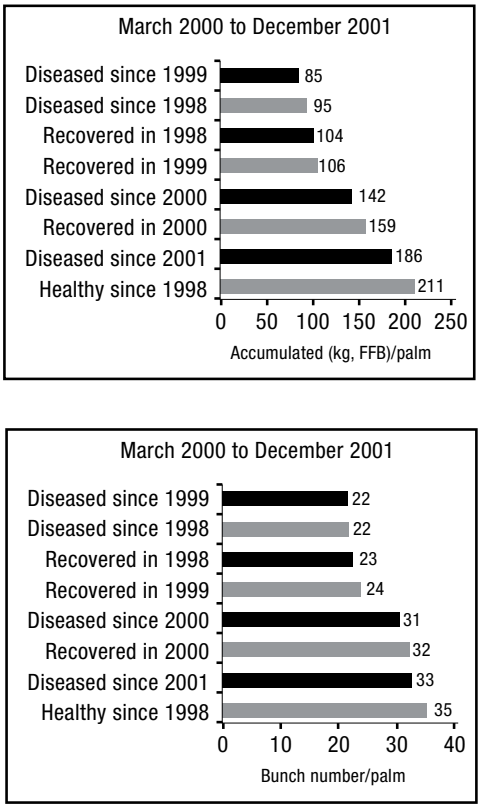

Fig. 2. Accumulated yield (number of bunches and kilograms per palm), between March 2000 and December 2001 for each group of palms according to their reaction to spear rot disorder.

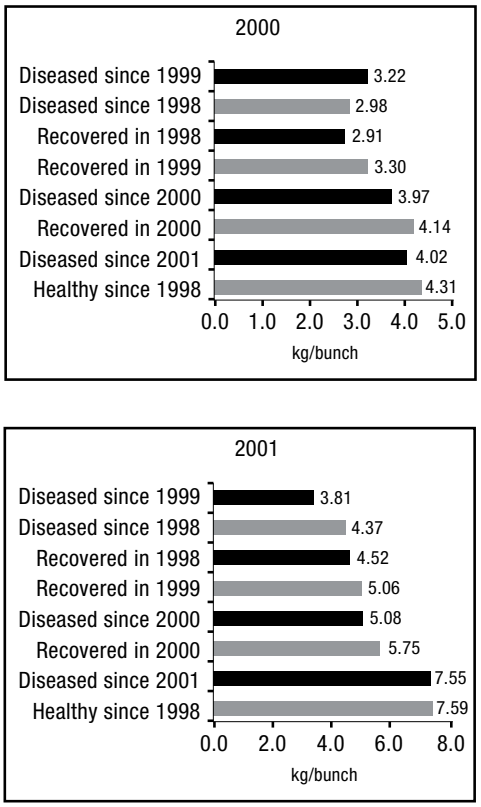

Fig. 3. Average bunch weight for 2000 and 2001 for the eight classes according to their reaction to spear rot disorder

Vegetative growth

Petiole cross-section (*PxS*), which is related to palm vigor (Corley & Tinker 2003) was one of the variables most negatively affected by spear rot and the effects of the attack on this variable were maintained for at least one year. Prior to the appearance of symptoms, the palms that became ill had average *PxS* values that were lower than values for palms that did not become ill. The palms that were ill in 2000 and recovered in 2001 had higher *PxS* values ($P<0.01$) than ones that continued to be ill; the diseased plants in 1999 showed a similar trend. These observations support the idea that the palms most likely to show symptoms are those subjected to some kind of stress that affects their growth and vigor, which occurs even before the first visible symptoms of the disease appear (Albertazzi et al. 2005).

One year after detecting the disease, the estimated leaf area of the palms affected was significantly less than that of the healthy palms. The palms diseased since 1998 were the exception, because they showed smaller leaf area from the beginning; this too is another indication that plants subjected earlier to some kind of stress are the first to show symptoms. The palms recovered in 2001 had leaf areas that were larger than those that remained ill at that time.

The behavior of rachis length was similar to that of leaf area and *PxS*, and it was evident that the plants with lower initial growth were affected earlier. Trunk diameter also seems to have been affected by the disease, but the differences were not very obvious, due perhaps to the young age of the palms.

Table 3. Petiole cross-section (*PxS*), leaf area, rachis length and average trunk diameter for each class of palms according to their reaction to spear rot disorder

	PxS (cm^2)					Leaf area (m^2)				
Class	Oct 98	May 99	Oct 99	Aug 00	Mar 01	Oct 98	May 99	Oct 99	Aug 00	Mar 01
Healthy	5.08	3.81	5.08	7.11	9.06	8.57	11.11	17.2	25.65	28.56
FS01-FS01	4.82	3.45*	4.82	6.75	9.08	8.15	10.52	16.99	25.58	28.23
FS00-FS01	4.75	3.51*	4.75	6.81	7.2**	8.56	11.05	17.48	25.49	23.48*
FS99-FS01	4.75	3.50*	4.75	6.18	6.38**	8.91	11.14	17.42	21.46*	20.69**
FS98-FS01	4.32*	3.14*	4.32*	6.74	9.22	7.26*	8.43*	12.02*	20.52	28.66
FS98-REC01	4.23*	3.40*	4.23*	5.62*	6.69**	7.79	10.57	14.79*	20.24*	22.67*
FS99-REC01	4.78	3.62	4.78	5.23**	6.72**	9.07	11.72	17.81	20.31*	23.61**
FS00-REC01	4.95	3.64	4.95	6.86	7.57**	9.09	11.74	18.07	27.02	24.73*
	Rachis length (cm)					Trunk diameter (cm)				
Class	Oct 98	May 99	Oct 99	Aug 00	Mar 01	Oct 98	May 99	Oct 99	Aug 00	Mar 01
Sanas	202	210	301	376	430	34.3	40.4	49.4	67.6	64.5
FS01-FS01	192*	204	295	377	420	34.9	40.6	50.3	66.1	66.4
FS00-FS01	194	210	300	377	373**	34.8	40.3	50.6	65.0*	60.8*
FS99-FS01	195	210	296	315*	334**	34.8	41.0	49.8	61.9**	58.2**
FS98-FS01	180*	185*	242**	333*	389	31.2	38.9	44.9	59.4*	58.3
FS98-REC01	188*	201	262*	302**	357**	32.7	37.5	45.0*	54.8**	54.2**
FS99-REC01	196*	214	297	305**	352**	35.6	40.5	50.4	61.6**	58.1**
FS00-REC01	200	214	304	374	384**	35.5	41.0	50.8	66.7	62.3

** Significantly different from healthy palms according to the t-test: *P<0.05, **P<0.001*

Conclusions

The growth disorder known as spear rot in English, *pudrición del cogollo* (PC) in South America and *flecha seca* in Costa Rica, appears with very different levels of incidence and severity in different plots and individual plants. In Costa Rica this disorder is not lethal and the plants recover; but not before having suffered a negative effect on the components of yield (weight and number of bunches), whose magnitude depends on the age at which symptoms appear and their severity. In the same year that the palms were diagnosed as diseased,

no large differences in production were seen in comparison with healthy palms, but the negative impact was evident in the following year. The effect was the combined result of abortion and bunch failure; but it was also evident that the sex ratio was also affected, which happened even before the first symptoms of the disorder (in the form of yellowing, drying and rot of young leaves) were evident.

The idea that different kinds of stress are significant factors that predispose palms to the disorder is strengthened by the fact that plants with less vigor were the ones that were most likely to show symptoms. This inferior vegetative development was reflected in smaller *PxS* (petiole cross-section) and shorter rachis length; which could be observable even before the first symptoms of the disorder appeared.

The appearance of symptoms in young palms certainly affects their production potential. However, initial production is really a small fraction of the potential the plant has for the rest of its life, since average bunch weight increases with age and this has a compensatory effect when the disease appears at an early stage in the life of the plant. When affected young plants are given the best agronomic management possible, this reduces the severity of the symptoms and accelerates the recovery process, thereby reducing subsequent negative effects.

Literatura

Albertazzi H., Bulgarelli, J., Chinchilla C. 2005. Onset of spear rot symptoms in oil palm and prior (and contemporary) events. ASD Oil Palm Papers, 28: 21-41.

Corley R., Tinker P. 2003. The oil palm. Oxford Blackwell Science, Blackwell Publishing Company. 562 p.

Chinchilla C, 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. 2008. The many faces of spear rots in oil palm: the need for an integrated management approach. ASD Oil Palm Papers, 32: 1-25.

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