



ISSN
1019-1100

NUMBER 40, 2013

ASD OIL PALM PAPERS



Alternatives for oil palm irrigation: the mobile cannon



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

Number 40

2013

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. *Physiological response of young oil palms (Elaeis guineensis) to soil drying by evapotranspiration in two soil types under greenhouse conditions and possible implications for spear rot development*
16. Respuesta fisiológica de la palma aceitera joven (*Elaeis guineensis*) al secamiento por evapotranspiración en dos tipos de suelo en condiciones de invernadero y posibles relaciones con la respuesta a las pudriciones de cogollo
Rafael Reyes, Nestor Riaño, Carlos Chinchilla, Norbey Ibarra.
33. *Response to irrigation (growth and production) of three varieties of oil palm (Elaeis guineensis Jacq.) in the zone of La Concordia, Ecuador*
38. Respuesta al riego (crecimiento y producción) de tres variedades de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en la zona de La Concordia, Ecuador
Martínez Osvaldo, Hidalgo Diego, Lema Víctor, Reinoso Viviana, Camacho Oscar, Reyes Santiago, Morales Rocío, Calvache Marcelo, Bernal Gustavo , Vega Cristian.

Cover page

Alternativas de riego en palma aceitera: el cañón móvil
Alternatives for oil palm irrigation: the mobile cannon

Physiological response of young oil palms (*Elaeis guineensis*) to soil drying by evapotranspiration in two soil types under greenhouse conditions and possible implications for spear rot development

Rafael Reyes,¹ Nestor Riaño,² Carlos Chinchilla,³ Norbey Ibarra⁴

Abstract

Drying by evaporation was determined in two Inceptisols, (SCL: silty clay loam and LS: loamy sand). These soils are commonly used for oil palm cultivation in Tumaco, Colombia. The study was carried out in a greenhouse with nursery palms that were planted in pots filled with one soil type or the other.

The initial rapid drying process took 20 days in the SCL soil and 38 days in the LS soil. The daily loss of moisture was lower after these two periods (62 days in LS and 80 days in SCL to dry completely). The drying process was fitted to two models: ($\psi_s = a \cdot X^b$) when ψ_s was related with time, and ($\psi_s = a e^{-bx}$) when ψ_s was related with the pot weight. The data was used to obtain the drying curves due to evaporation for the two soils at two depths (10 and 20 cm). The drying rates in time were higher for the LS soil. The soil water readily available for the plant (ψ_s -0.03 -1.50 MPa) was depleted in 73 days in this soil, but the SCL soil still had water available for the plant after 100 days (ψ_s de -0.55 MPa).

During a second stage, eight months old nursery palms of four varieties (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS and Deli x Yangambi) were planted in the same soils to study their physiology as the soils dried due to evapotranspiration. The soil drying process was similar in both soils (higher rate of moisture lost during the first 18 days) and it fit the model $\psi_s = Y_0 + a e^{-bx}$ when ψ_s was related with time. Values of ψ_h and ψ_s were related at 20 cm soil depth, and with net photosynthesis (F_n) and ψ_s at 20 cm. F_n and transpiration (T) decreased during the drying process in all four varieties and in both soils. The highest value of F_n was found in LS soil for Bamenda x Ekona. Deli x Yangambi showed the highest values of T in both soils. Water efficiency use was better in Bamenda x Ekona. The psychrometric technique was deemed appropriate for quantifying soil and tissue water potential under tropical conditions.

It was concluded that the response of nursery oil palms to water deficit can be estimated with the values of ψ_h , T and F_n . The physiological response of tolerance to water deficit observed in all four varieties corresponded with previous field observations on these same genotypes: Bamenda x Ekona and Tanzania x Ekona showed better tolerance, Deli x Yangambi was intermediate, and Deli x AVROS was the most susceptible. The data indicate that there exists the possibility of early selection (at the nursery stage) of genotypes with water deficit (stress) tolerance, which could also be more tolerant to PC (spear rot), since these traits seem to be related.

Excessive rains will cause long periods of poor aeration in SCL soils. On the other hand, plants growing in LS soils will suffer more during dry periods. These stressful periods will be more pronounced with the presence of the La Niña/El Niño phenomena, which seem to be related to important outbreaks of PC in the region.

Key words: *Elaeis guineensis*, water deficit, physiology, psychrometric sensors

¹ Agronomist, Ph. D. CORPOICA, Colombia, rreyes@corpoica.org.co

² Agronomist, Ph. D. Physiology Program, CENICAFE, Colombia, nestorm.riano@cafedecolombia.com

³ Consultant for ASD Costa Rica, cmlchinchilla@gmail.com

⁴ Agronomist, CORPOICA, Colombia

Introduction

Plants can take up soil water depending on the difference in free energy between the soil and the roots. According to its texture, each soil will have a characteristic moisture retention curve, which will determine the amount of water available for the plants (Ojeda et al. 2007).

Soils lose water by evaporation and the rate of loss depends on solar radiation, temperature, wind velocity and the water vapor pressure deficit in the air. Additionally, water is lost by the vegetation through transpiration (Gliessman 2002).

Theoretically, an oil palm plantation needs about 150-280 mm of rainfall per month, with a maximum evaporation of 150 mm/month, and a reserve of water in the soil of about 125 mm (Corley and Tinker 2003). However, oil palm is cultivated in diverse soils and climates, such as in India, where soil evaporation reaches 0.50 - 2.14 mm/day (Kallarackal et al. 2004).

Gas exchange in plants enables water to be taken up from the soil, allowing the plants to regulate temperature and obtain mineral ions essential for development. Both photosynthesis and transpiration depend on this gas exchange.

The difference in water potential (ψ) enables water uptake by the roots and it is the driving force for the movement of liquid water through the plant tissues. The difference in the water vapor pressure deficit (VPD) in the air determines the movement of water vapor from the leaf tissue to the atmosphere.

Evaporation is determined by the difference in water potentials between the soil solution and the surrounding air, and it is affected by temperature and soil hydraulic conductivity. Transpiration depends on cellular respiration, which produces the metabolic energy required for water uptake by root cells. Oxygen diffusion is impeded when the soil is saturated with water, which negatively affects respiration and ion and water uptake; this in turn affects gas exchange, growth and biological productivity. On the other hand, soil water deficit causes higher energy costs, since suction must be increased to uptake water, and the plant closes stomata to maintain water balance.

Gas exchange also depends on the genetic makeup of a particular plant variety that determines its photosynthetic capacity and the ability to uptake and transport water. In oil palm, the ratio between carbon fixation (net photosynthesis) and water transpired, which is designated the 'water use efficiency' (*WUE*) has been used as a criterion for selecting genotypes. The reference value is between 2.8 and 8.0 $\mu\text{molCO}_2/\text{mmolH}_2\text{O}$ (Noor and Harun 2007). Water uptake by the plant, measured as transpiration under no limiting conditions, can be 70% - 90% of potential evapotranspiration. For young palms, values of transpiration between 2.0 and 6.5 mm/palm/day have been obtained (Noor et al. 2005).

There are not many studies on how soils cultivated with oil palm dry out due to evaporation under tropical conditions and how different varieties respond to this from a physiological point of view, despite the fact that the oil palm is cultivated in many areas where water deficits are common (Corley and Tinker 2003, Kallarackal et al. 2004). In Tumaco (Colombia), it rains about 3,000 mm/year (normally well distributed), and annual potential evapotranspiration is near 1,030 mm. Under these conditions no water deficits occur. However, extreme events (such as El Niño/La Niña) have occurred more frequently in recent years, causing prolonged periods with water deficit or soil water saturation (Cadena et al. 2004; IDEAM 2008).

The condition known as PC has been severely affecting the oil palm plantations in Tumaco (Colombia) since 2005, reaching 80% incidence in 2010 in approximately 26,000 ha. This disorder is also present in other areas of the country (Fedepalma 2010, 2011). The incidence, severity and symptom recovery are closely associated with stress, particularly abrupt changes in water availability (both water deficit and excess in the soil) (Acosta and Munévar 2003, Albertazzi et al. 2005; Chinchilla 2010, Texeira et al. 2010).

Additionally, there is field evidence that it is possible to find sources of tolerance/resistance within *Elaeis guineensis* to both abiotic stress and PC, and that the two conditions seem to be related (Chinchilla et al. 2007).

Improved knowledge on water availability for the oil palm in different types of soils under different environmental conditions would permit a better selection of sites for planting the crop and improving soil management to reduce the risk of PC occurrence or at least reducing its economic impact. The objective of this work was to generate knowledge on the dynamic of soil drying by evaporation/evapotranspiration and measure the physiological changes in four oil palm varieties that differed in their response to water stress.

The work was done in the region of Tumaco, where PC had been prevalent.

Considering the apparent relationship between abiotic tolerance and PC tolerance, the results of these kinds of studies could be used to select genotypes that are better adapted to particular conditions, determine the effects of abiotic factors on PC incidence (and severity), and develop agronomic management strategies.

Materials and Methods

The study was divided into two parts carried out at the 'El Mira' Experimental Station (CORPOICA), located on the southern Pacific coast of Colombia (Tumaco: 1°32'58" North, 78°41'21" West, 16 masl). The region is classified as humid tropic, with an annual precipitation of 3,067 mm, mean annual temperature of 25.5 °C, mean relative humidity of 88%, potential evapotranspiration of 1023 mm/year, accumulated solar radiation of 1008 hours, and accumulated annual radiation of 15,080 J/cm² (IDEAM 2009).

Experiment 1: Moisture loss by evaporation in two soil types

Two Inceptisol soils (Pital and Piragua series) were used. These soils are normally used for oil palm cultivation in the region, and are located on terraces of alluvial origin from the Mira River. The soils are classified as *vitrandic eutrudepts* (Pital: silty clay loam, poorly drained, with good water retention capacity), and *andic dystrudepts* (Piragua: loamy sand, well drained, with low water retention capacity (IGAC 2004). Samples of each soil were collected at five depths to determine texture, apparent density and actual density, porosity and moisture retention curves at different suctions (0.03; 0.15; 1.0 and 1.5 MPa) (Tables 1 and 2).

After homogenizing by particle size (#10 mesh), soils were used to fill six pots (30 cm diameter, 40 cm high, with drainage holes in the bottom, approximately 30 kg of soil in each pot). Each pot had side holes at 10 and 20 cm from the rim, where psychrometric sensors were placed (Wescor PST-55-30-SF, Wescor 2006) to estimate moisture content.

Initially, water was added to get saturation and then the soil was allowed to dry naturally for 72 hours. After this, data were taken for a 100-day period, during which the pots were kept uncovered and no water was added to the soil.

Pot weight was recorded every day to determine daily water loss (evaporation) and data were transformed to milliliters. Electric current was determined every three days at 10 and 20 cm deep by using a micro-voltmeter Wescor HRT-33. Soil water potential was obtained by using the methodology of Wescor (2006) and Rundel and Jarrell (1989). Temperature was recorded hourly on a thermograph (Dickson SL4350).

Pots were set up in a randomized block design with factorial arrangement, where the experimental unit was the pot. Soil drying rate (%) with time (b) at each depth was adjusted to the model $\psi_s = a \cdot X^b$, which relates soil water potential (ψ_s) with drying time.

Experiment 2: Physiological response of young oil palms to soil drying by evapotranspiration

The experiments were carried out from September 2007 to July 2008 using the same two types of soils previously described, again filling pots where nursery palms of four varieties were planted: Tanzania x Ekona (TxE), Bamenda x Ekona (BxE), Deli x AVROS (DxA) and Deli x Yangambi (DxY). The origin of these varieties, and previous field experiences indicated a differential response to water deficit and to the disorders known as

'pudrición del cogollo' (whorl rot or spear rot): DxA is considered a susceptible variety and BxE is tolerant one (Alvarado and Sterling 2005, Chinchilla et al. 2007).

Two-month old plantlets of each variety were planted in the pots for a total of 20 plants by soil type, distributed as a completely randomized design with a factorial arrangement: two soils and four varieties with five replications (each plant in a pot). When palms were eight months old, the substrate was slowly saturated with water, and then allowed to dry naturally for 72 hours. Data were taken afterwards for 70 days as the soil continued to dry out due to evapotranspiration, since no additional water was added.

Pots were weighed every three days when soil and leaf water potential and gas exchange were also measured. Pot weight (soil plus plant) was determined to the nearest gram. Soil water potential was determined at 10 and 20 cm deep with psychrometric sensors PST-55-30-SF attached to a microvolt meter Wescor HRT-33 (Wescor 2006). Leaf water potential was

measured between 6:00 and 8:00 a.m. on the central leaflets of leaf four on the phyllotaxis using the L-51-SF (Wescor Inc.) attached to the microvolt meter Wescor HRT-33 (Wescor 2006a).

Gas exchange (net photosynthesis and transpiration) was measured hourly on the central leaflets of leaf four between 8:00 a.m. and 5:00 p.m. using a portable LI-6200 photosynthesis system (Licor, Nebraska, USA). This equipment also takes data on temperature, relative humidity and photosynthetically active radiation. Previous information taken on the daily curve for CO₂ assimilation made clear that photosynthetic activity was higher between 09:00 and 11:00 a.m., so special emphasis was placed during this period.

Statistical analysis

Data were analyzed using descriptive statistics, variance and multivariate analyses to obtain the different curves that best described the behavior of the variables and their relationships, using MS-Excel, SAS®Analytics Pro and Sigma Plot®11.

Table 1. Physical soil characteristics: Pital (PT) and Piragua (PR) series. Tumaco, Colombia

Soil series	Depth (cm)	Texture	%		
			S (sand)	S (silt)	C (clay)
Pital (PT)	0 - 20	S.C.	19.1	56.7	24.3
	20 - 40	S.C.L.	17.5	44	38.5
	40 - 60	S.C.L.	18.9	48	33.1
Piragua (PR)	0 - 20	L.S	79.1	11.1	9.8
	20 - 40	L.S	79.4	11.8	8.8
	40 - 60	L.S	79.2	11.9	8.9

Table 2. Water retention and water content available for plants in two soils: Pital and Piragua series. Tumaco, Colombia

Soil series	Texture	Depth (cm)	Moisture retention (volumetric water %)				Water available for plants (mm)
			MPa of determination				
			0.03	0.15	1.00	1.50	
Pital	Silty clay loam (SCL)	0 - 5	49.1	46.9	45.6	44.5	1.79
		5 - 10	46.9	45.6	44.4	43.5	1.65
Piragua	Loamy sand (LS)	0 - 5	43.1	41.7	40.7	39.4	1.05
		5 - 10	45.2	43.6	42.2	41.7	1.13

Soil series	Depth (cm)	Weight (g)		Apparent density (g/cm ³)	Real density (g/cm ³)	Moisture (%)	Proposity(%)			
		Moist	Dry				Total	Micro	Meso	Macro
Pital (PT)	0 - 5	125.4	74.8	0.8	2.5	40.4	68.3	44.5	4.6	19.2
	5 - 10	139.5	90.8	1.0	2.6	34.9	63.2	43.5	3.4	16.3
Piragua(PR)	0 - 5	110.5	62.7	0.7	2.5	43.3	73.4	39.4	3.7	30.3
	5 - 10	111.4	61.6	0.7	2.6	44.6	75.2	41.7	3.5	30.0

* S.L. silty loam; S.C.L. silty clay loam; L.S. loamy sand.

Results and Discussion

Moisture loss by evaporation in two soil types

As expected, the silty clay loam showed a higher water potential (-0.012 and -0.009 MPa at 10 and 20 cm depth) than the loamy sand due to its high clay content. Daily variations in temperature (22.9 °C at 5 a.m. and a maximum of 34.7 °C at 1:00 p.m., Fig. 1) and solar radiation within the greenhouse were fairly constant during the period when data were taken.

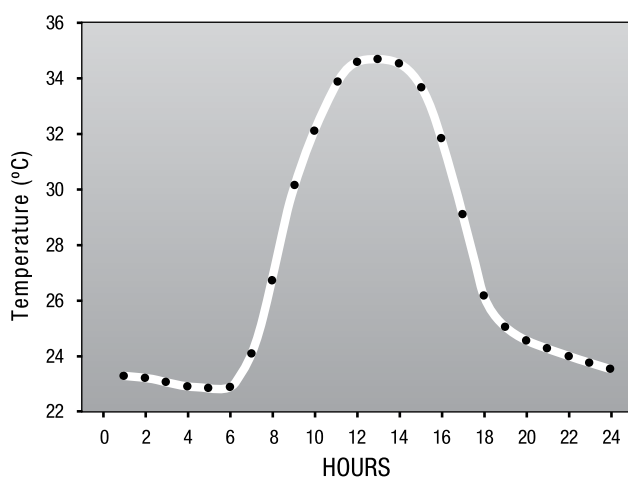


Fig. 1. Hourly temperature variations within the greenhouse. Tumaco, Colombia.

The rate of reduction in soil water potential (ψ_s) with time since the last supply of water followed a decreasing potential model ($\psi_s = a \cdot X^b$; $r^2 > 0.92$, Fig. 2). This tendency was more pronounced in the loamy sandy soil where there were two stages: initially a slow phase that reached -0.5 MPa at 38 days, followed by a faster drying period where values reached -4.2 to -7.1 MPa at 10 and 20 cm deep in the pots (Fig. 2B). For the silty clay loam only one phase was observed, where moisture decreased slowly and reached -0.79 to -0.55 MPa at 10 and 20 cm when the experiment was finished 100 days later (Fig. 2A). The responses of both soil types were as expected for these types of soil structure (Henríquez and Cabalceta 1999).

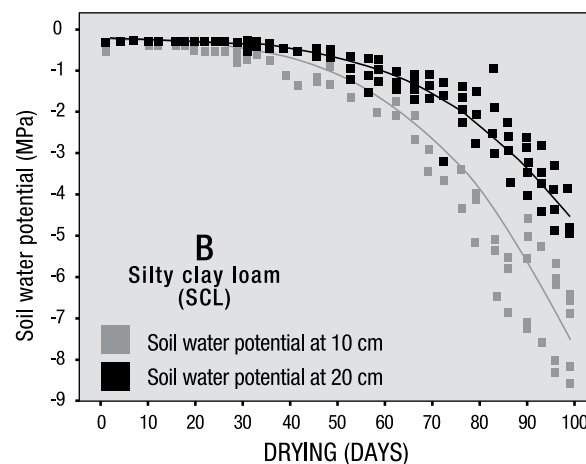
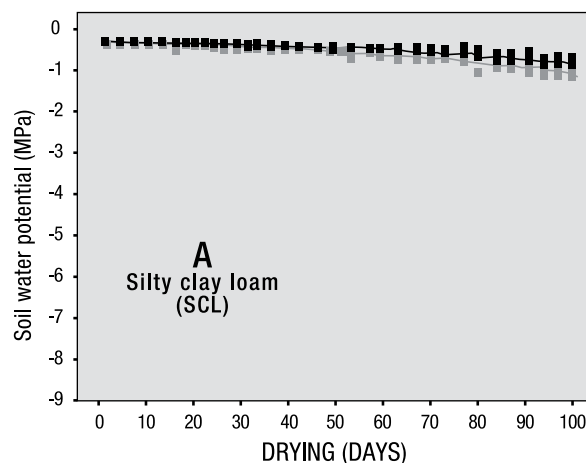


Fig. 2. Soil water potential for two soil types at 10 and 20 cm depth and drying days. Tumaco, Colombia.

Water held in soil between -0.03 and -0.5 MPa can readily be used by most plant species. For the SCL soil, this condition lasted 85 days, but only 45 days in the loamy sand (Fig. 2). Still, water that in theory could be taken up by plants (-0.03 to 1.5 MPa) was lost by the loamy sand in 63-73 days (at 10 and 20 cm depth), but the silty clay soil retained part of this water even after 100 days of drying (-0.79 MPa at 10 cm and -0.55 MPa at 20 cm depth).

Soil drying rate ('b' value obtained when ψ_s was related to drying time: $\psi_s = a \cdot X^b$) was 3.21% and 3.51% at 10 cm and 20 cm depth for the loamy sand (more macropores) and 1.32% and 1.26% for the silty clay loam. The 'b' values were not significantly different between depths within each soil.

To obtain a more practical methodology, soil water potential was related to changes in pot weight (soil included). The equation that best fit this behavior was $\psi_s = ae^{-bx}$ ($r^2 > 0.95$) (Fig. 3), which is similar to that obtained for other soils (Cano 2000). This relationship is similar to that obtained between ψ_s and drying time (Fig. 2), indicating that pot weight can be used as an indirect estimate when studying soil drying.

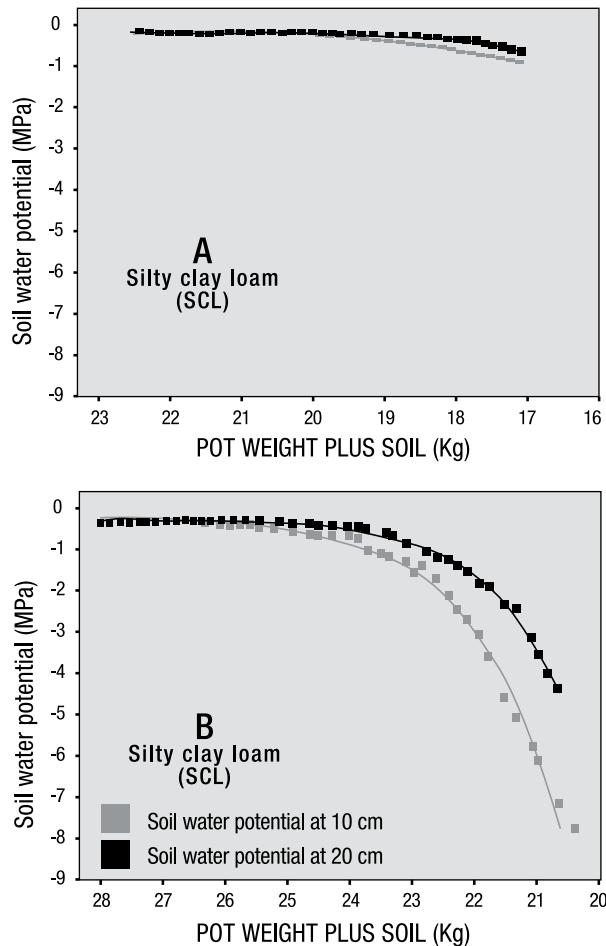


Fig. 3. Soil water potential and pot weight in two soil types at two depths. Tumaco, Colombia.

Soil water evaporation (expressed in mm) and drying time were related as:

$$EVP = y_0 + ae^{-(bx)} \quad (r^2 > 0.69, p < 0.0001).$$

Soil water evaporation rate ('b' value in mm) decreased similarly in both soils, but the physical characteristics of each soil determined the minimum value reached: 0.3 mm for the SCL and 0.64 mm for the LS (Fig. 4).

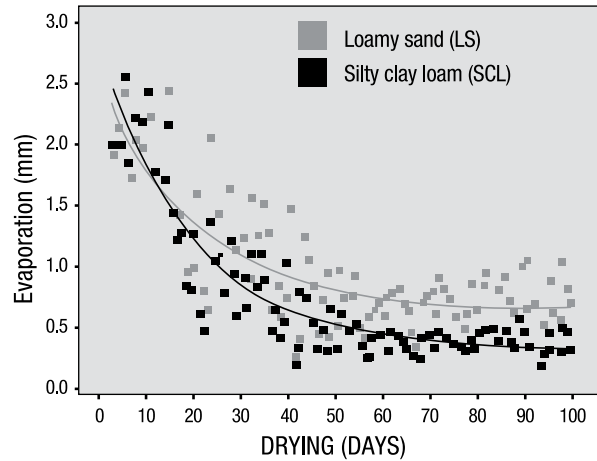


Fig. 4. Soil water evaporation in time during drying of two soils (silty clay loam and loamy sand), Tumaco, Colombia

The values found for soil water evaporation were similar to those determined for other soils cultivated with oil palm in India and Colombia (Kallarackal et al. 2004, IDEAM 2009), and as expected, the silty clay loam had lower rates of evaporation (Rucks et al. 2004). Soil water evaporation depends, among other factors, on soil water content, the velocity at which water is replenished by capillarity, air moisture and the difference in moisture in the first layers (cm) of soil (Peters and Durner 2008).

The actual amount of water lost in these experiments (2.59-0.14 mm/day) was affected by initial moisture and soil water retention, but it is clear that soil hydraulic conductivity had been disturbed during soil handling. Considering this, it is possible to extrapolate the results to field conditions for soils with no plant cover. For the silty clay loam in Tumaco during a dry spell, available water would last approximately two months, but this type of soil would also get easily saturated under heavy rains conditions, which are normal in the region during the first semester of the year. This condition worsens during the La Niña years. The opposite situation may easily occur for loamy sands where an important water deficit may occur during El Niño years.

Experiment 2: Physiological response of young oil palms to soil drying by evapotranspiration

Nursery microclimate

Large variations were observed during the day and between days. Values of photosynthetically active radiation (PAR), water vapor pressure deficit in the air (WVP) and leaf temperature were higher from 11:00 am to 2:00 pm. Relative humidity was about 88% (65% - 98%). PAR was low for most days (< 400 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$) and WVP was also high (>1.7 KPa); both conditions are considered limiting for maximum photosynthetic activity in oil palm. Leaf temperature and VPD followed a similar tendency that was not related to soil type.

Soil drying

Soil drying by evapotranspiration over time for both soils (expressed as soil water potential (ψ_s , MPa)) fit the equation: $\psi_s = Y_0 + ae^{(-bX)}$ ($r^2 > 0.76$) (Fig. 5). A similar equation was also determined by Cano (2000) and Gómez (2000) for Andisols planted with coffee (*Coffea arabica* L.). No differences were observed between the four oil palm varieties used in this experiment at any depth (10 and 20 cm).

As observed for soils with no oil palm (experiment 1), soil drying was faster at the beginning; as expected the rate of moisture lost was now higher due to the transpiration of the plants. For the SCL soil, a clear change was observed at 25 and 35 days at 10 cm and 20 cm depth after the last addition of water. For the LS soil, these values were 35 and 18 days (Fig. 5).

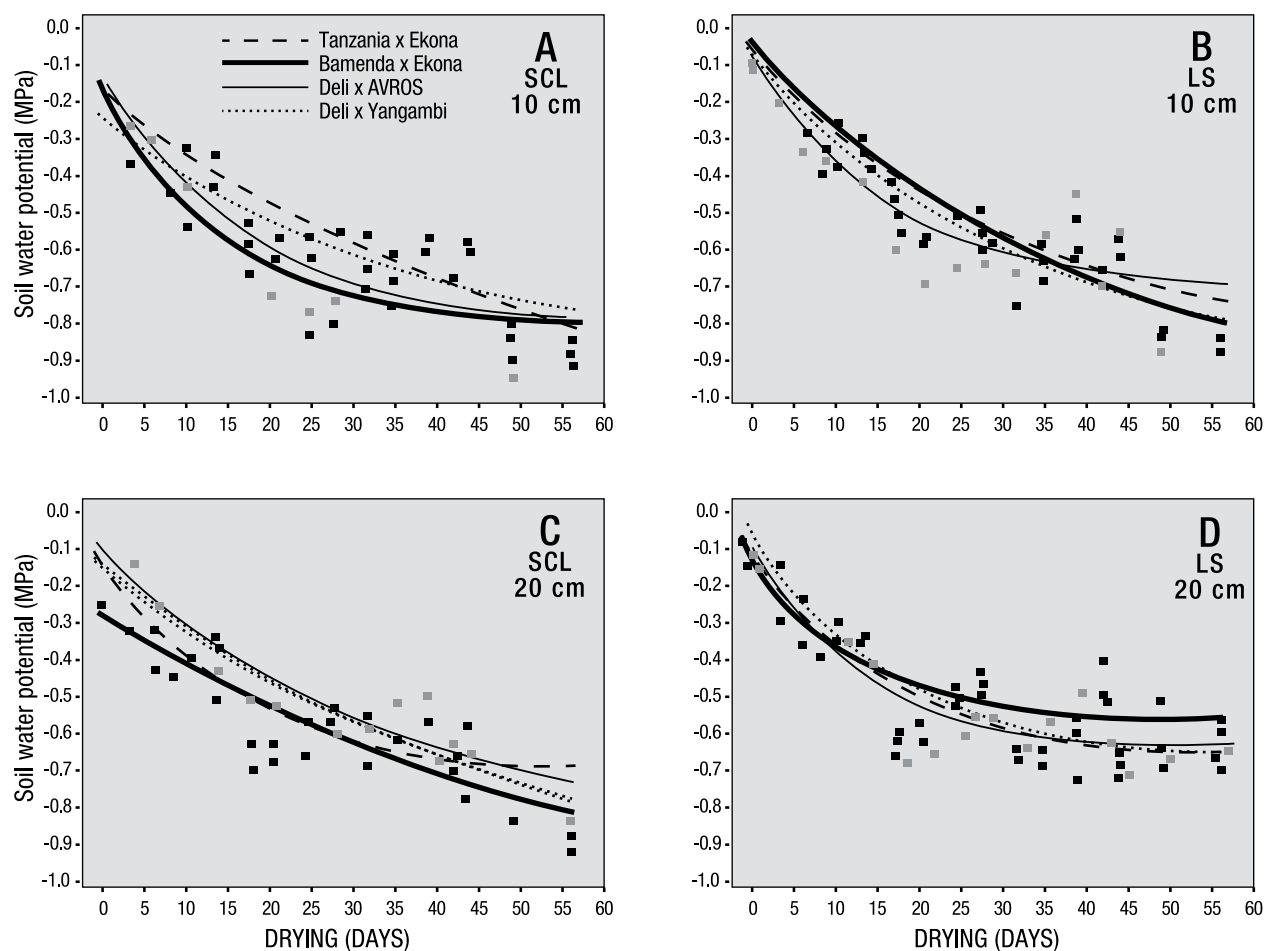


Fig. 5. Change in soil water potential at two depths in pots with 8-month old oil palms of four varieties. No water was added during the natural drying process. SCL: silty clay loam, LS: loamy sand. Tumaco, Colombia.

The loss of water readily available to plants (-0.03 MPa and -0.50 MPa) took place during the first 18 days of drying in both soils (Fig. 5), which was faster than in pots with no plants where water was lost solely by evaporation: 85 and 45 days for the SCL and LS soils respectively (Fig. 2). There was still water available after 18 days ($\Psi_s < -0.50$ MPa), but plants cannot get this water without the use of extra energy, causing stress.

Total evapotranspiration during soil drying did not differ ($P > 0.05$) between soils or palm varieties growing in each soil (Fig. 6). The equation that associated potential evapotranspiration (mm) with soil drying time was $PEVT = ae^{(-bx)}$; $r^2 > 0.61$) (Fig. 6). The rate of soil moisture lost (b) varied from 0.04 to 0.16 ($r^2 > 0.60$) for the SCL soil and from 0.06 to 0.09 for the SL soil ($r^2 > 0.79$).

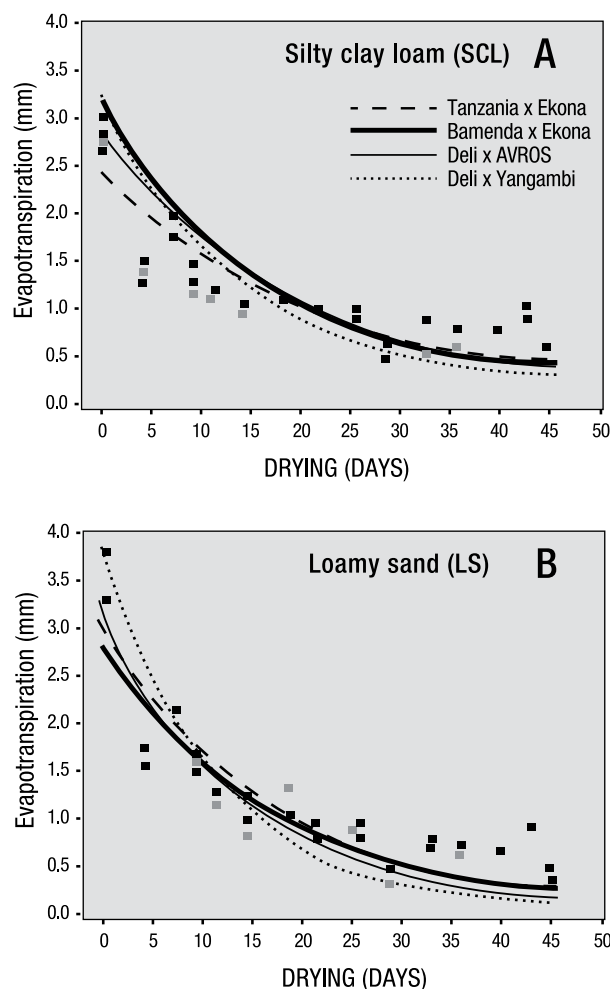


Fig. 6. Change in evapotranspiration in 8-month old oil palms of four varieties planted in two soil types. No water was added to the soil during the natural drying period in a greenhouse. Tumaco, Colombia.

Common values for evapotranspiration (4.0 to 0.22 mm/day) for all four oil palm varieties are considered normal for young plants (Foong 1999, Kallarackal et al. 2004, Yusop et al. 2008), indicating that a shortage of rainfall for two weeks may cause stress on oil palm grown in these soils. For Tumaco, annual rainfall is about 3000 mm and normally well distributed. This amount is larger than potential evapotranspiration (1030 mm/year), but some extreme events may occur associated with ENSO cycles (El Niño/La Niña phenomena) (IDEAM 2008). These conditions caused some important negative effects on oil palm plantations that lasted up to three years in the past (Cadena et al. 2004). This situation indicates that water deficit (accompanied with high temperatures) and excess rainfall (with low solar radiation) have to be taken into consideration when managing oil palm in the Tumaco region of Colombia in order to avoid severe stress on the plants. Some important phytosanitary disorders such as PC (pudrición del cogollo: spear rot) have been consistently associated with extreme weather conditions that may leave the plants in a condition of susceptibility (Albertazzi et al. 2005, 2009, Boari 2008, Chinchilla 2010, Venturieri et al. 2009).

Leaf water potential (Ψ_h)

Leaf water potential (Ψ_h) decreased with soil drying time (Fig. 7). Mean values found are normal for oil palm (Kallarackal et al. 2004), but there were differences between soils and palm varieties at 35 days. Higher values were found in the SCL soil (-0.42 MPa). The Bamenda x Ekona variety presented a value of -0.52 MPa, and Deli x AVROS was the variety most affected as the soil dried (-0.74 MPa) (Table 3).

As the soil dried, Ψ_h changed similarly for all four oil palm varieties at 20 cm soil depth, and the change fit the equation $\Psi_h = ae^{(-bx)}$ ($r^2 > 0.50$), where ' b ' corresponds to the rate of Ψ_h reduction with respect to the change in Ψ_s (Fig. 8). Tanzania x Ekona had the lowest rates in both soil types. Bamenda x Ekona also had a low rate in the silty clay loam, which indicates that both varieties have good tolerance to water deficit. On the contrary, Deli x AVROS and D x Yangambi had the highest rates of Ψ_h reduction in both soils. Deli x Yangambi, in particular seems to be quite sensible to water deficit, as has been observed in field trials with adult palms (Alvarado and Sterling 2005)

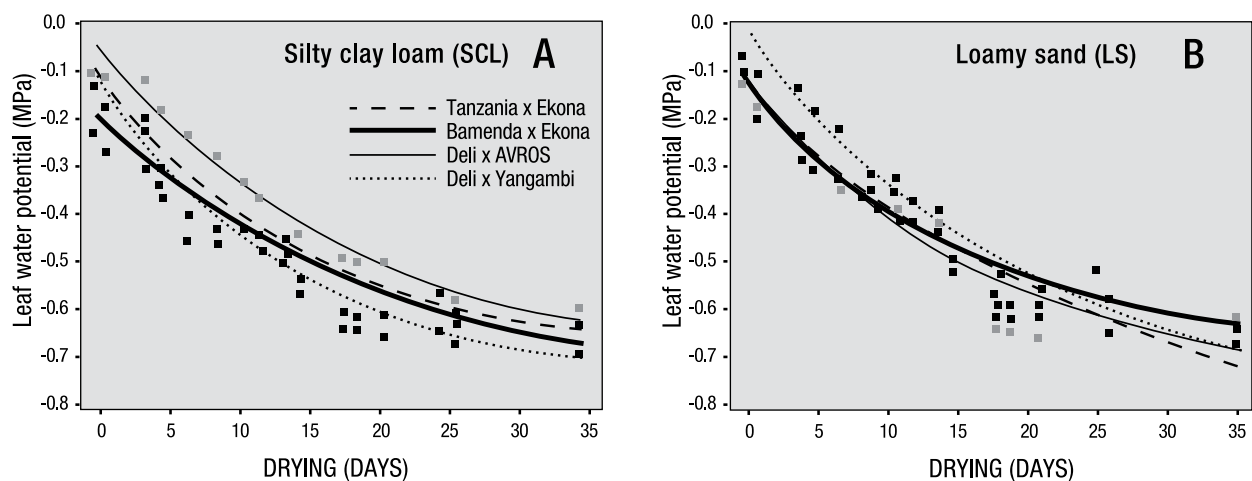


Fig. 7. Change in leaf water potential with soil drying time. Four 8-month old oil palm varieties were planted in two soils left to dry naturally under greenhouse conditions. Tumaco, Colombia.

Table 3. Leaf (four in the phyllotaxis) water potential of nursery oil palms (8 months old) of four varieties after 35 days of soil drying by evapotranspiration. Tumaco, Colombia			
Soil type	Mpa	Varieties	Mpa
Silty clay loam	- 0.42 a	Tanzania x Ekona	-0.65 a
		Bamenda x Ekona	-0.52 b
Loamy sand	- 0.87 b	Deli x AVROS	0.74 a
		Deli x Yangambi	0.66 a
Means in the same column do not differ (Duncan, p = 0.05)			

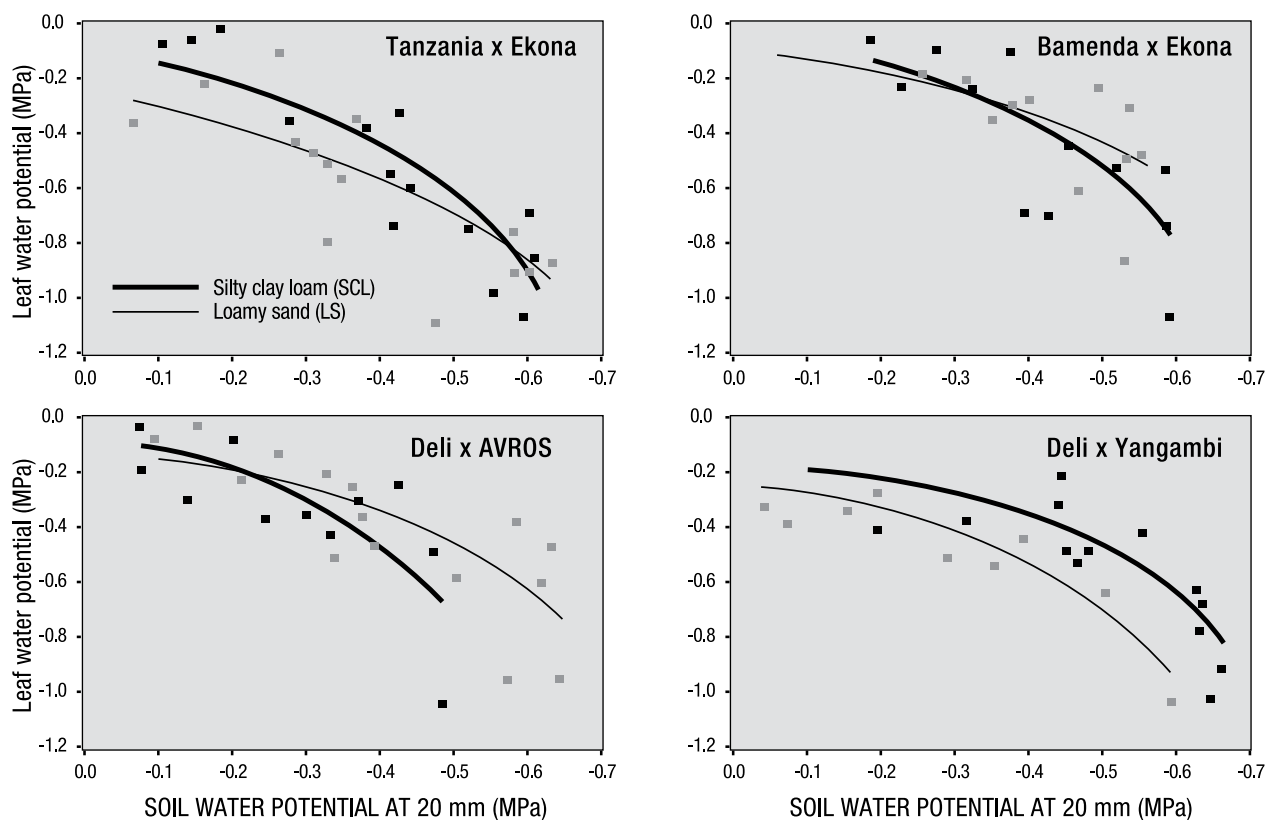


Fig. 8. Soil (20 cm depth) and leaf water potentials in four 8-month old oil palm varieties (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS, Deli x Yangambi) planted in pots filled with two types of soils (silty clay loam and loamy sand). Tumaco, Colombia.

Net photosynthesis (N_f)

The daily pattern of net photosynthesis presented a bimodal behavior: the first peak had maximum values between 09:00 and 11:00 hours, and the second, between 14:00 and 16:00 hours (Fig. 9). N_f decreases toward noon due to stomata closure (to keep turgidity) and saturation of the photosynthetic apparatus, which is normal in many plant species, when temperature and solar radiation is too high, and water vapor pressure deficit in the air is also high. All this causes rapid water loss from the first soil layers (Losch and Schulze 1995, Villalobos et al. 2001). The effect of soil drying with time on N_f between 10:00 and 11:00 hours, was evident, despite variations of other microclimatic factors (Fig. 10).

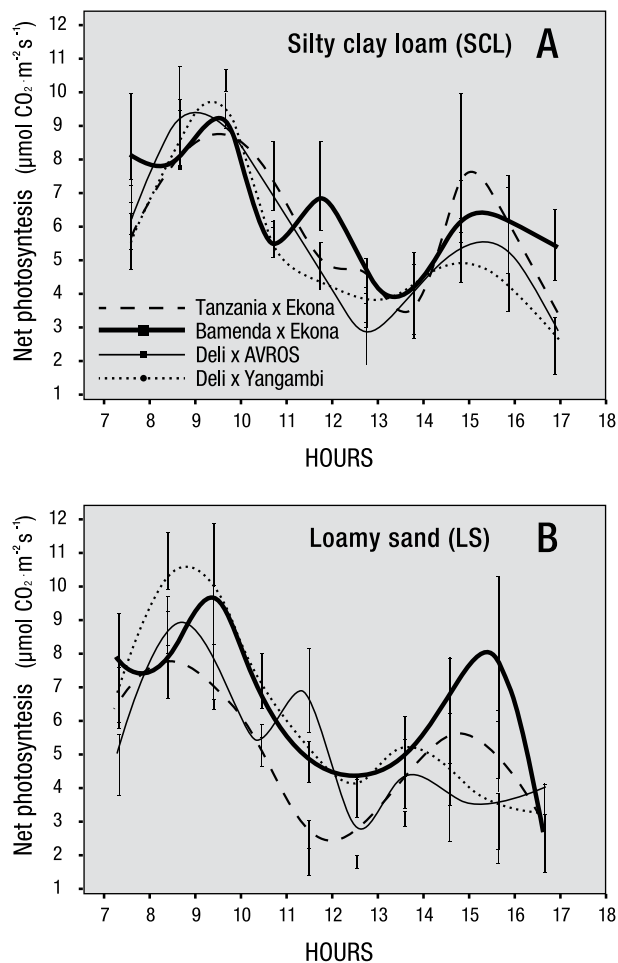


Fig. 9. Hourly net photosynthesis (7th day of measures) in oil palms of four varieties (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x Avros, Deli x Yangambi) planted in two soil types (silty clay loam and loamy sand), Tumaco, Colombia

Daily N_f was different between oil palm varieties and soils. Bamenda x Ekona had the highest N_f ($5.91 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), and the lowest value was for DxA ($5.27 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Fig. 9, Table 4). For the Sandy loam soil, the value was ($5.70 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), which was expected due a better aeration (Corley y Tinker 2003). N_f behaved similarly to leaf water potential (Tables 3 and 4).

Table 4. Net photosynthesis (leaf 4 in the phyllotaxis) in four nursery (8- month old) oil palm varieties planted in pots with two soil types

Soil type	Net photosynthesis ($\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Varieties	
			Net photosynthesis ($\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
Silty clay loam	5.36 a	Tanzania x Ekona	5.48 ab
		Bamenda x Ekona	5.91 a
Loamy sand	5.70 b	Deli x AVROS	5.27 b
		Deli x Yangambi	5.45 ab

Means with the same letter do not differ (Duncan, $p=0,05$)
Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS, Deli x Yangambi

N_f had rather low values during the day and for most days ($3-8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), which is considered inadequate for young palms ($7.9 - 9.50 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Noor et al. 2005, Noor and Harun 2007). This was the consequence of the low supply of photosynthetically active radiation (values below $400 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, and high water vapor pressure deficit in the air (values higher than 1.7 Kpa). Light saturation for the oil palm to obtain maximum values of N_f are between 400 and 1,150 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Henson 1993, Corley and Tinker 2003, Hanif 2006). Values of water vapor pressure deficit in the air higher than 1.7 KPa are outside the range considered adequate for the oil palm (0.5 to 1.7 KPa) (Dufrene and Saugier 1993, Henson et al. 2005). Despite this, there were differences between oil palm varieties and soil types (Table 4), which indicates good potential for higher CO_2 fixation and assimilates partition directed toward the bunches.

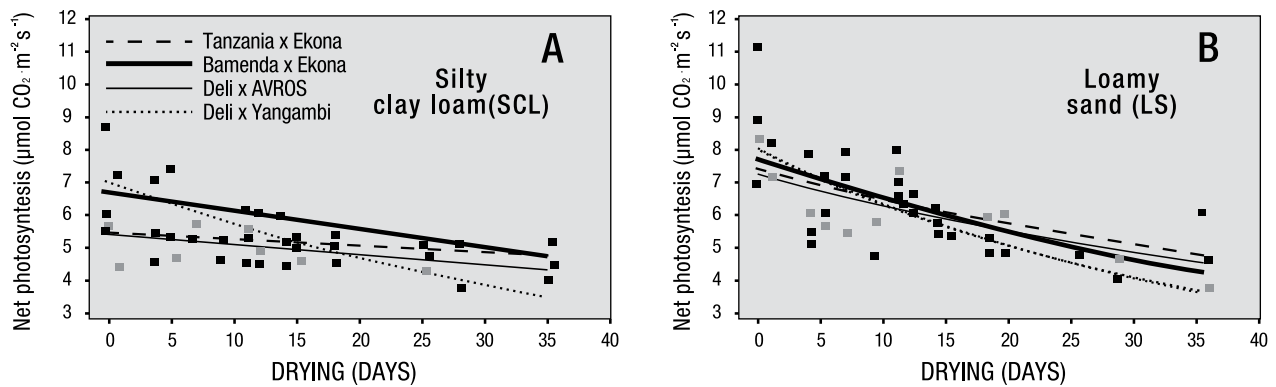


Fig. 10. Net photosynthesis (10:00-11:00 am) in oil palms of four varieties planted in two soil types (silty clay loam and loamy sand) during the soil drying process. Tumaco, Colombia

Net photosynthesis, soil water potential and water vapor pressure deficit in the air

N_f between 10:00 and 11:00 in the morning decreased in both soil types and for all four oil palm varieties with the reduction in ψ_s at 20 cm depth in the soil (Figs. 11 and 12), indicating the importance of keeping soil moisture near field capacity (Cornaire et al. 1993, Gomes and Prado 2007). However, the response of *N_f* to the reduction in

soil water potential was different in the four varieties: Bamenda x Ekona and Tanzania x Ekona > Deli x Yangambi > Deli x AVROS (Figs. 11, 12).

N_f decreased as water vapor pressure deficit in the air increased, and the effect was similar in both soil types and for all varieties (Fig. 13), which agrees with what has been observed in other studies of oil palm (Setyo et al. 1996, Henson and Haniff 2005).

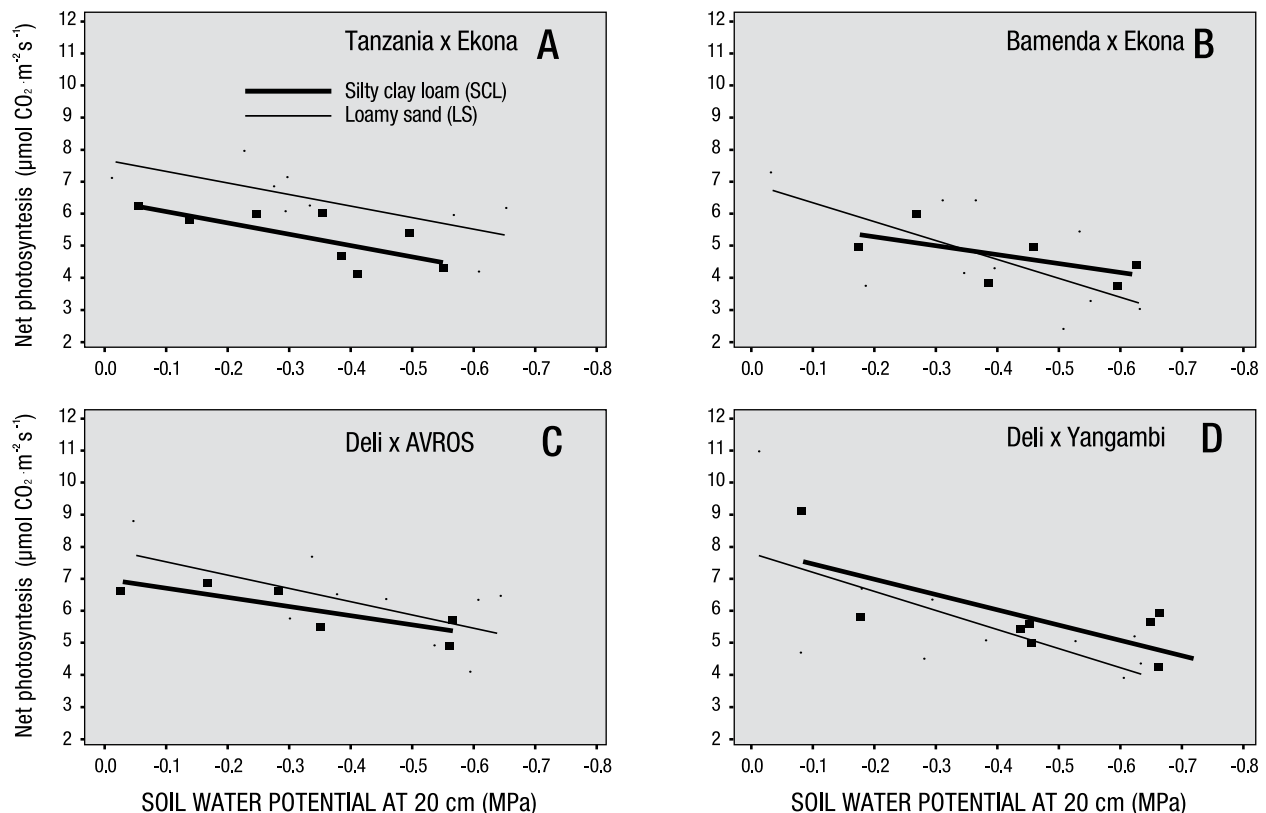


Fig. 11. Soil water potential and net photosynthesis (10:00-11:00 am; data for day 7) in four oil palm varieties (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS, Deli x Yangambi) planted in two soil types (silty clay loam and loamy sand). Tumaco, Colombia.

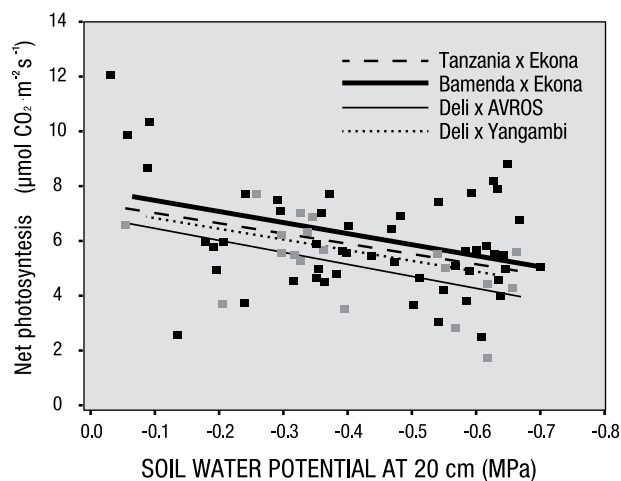


Fig. 12. Soil water potential and net photosynthesis (10:00-11:00 am) in four oil palm varieties after 70 days of soil drying. Tumaco, Colombia

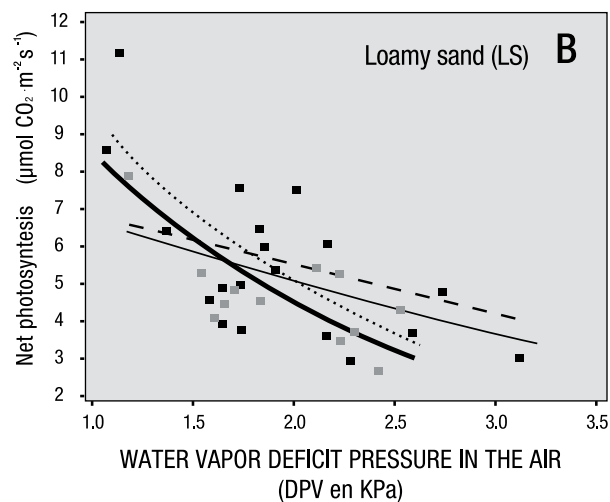
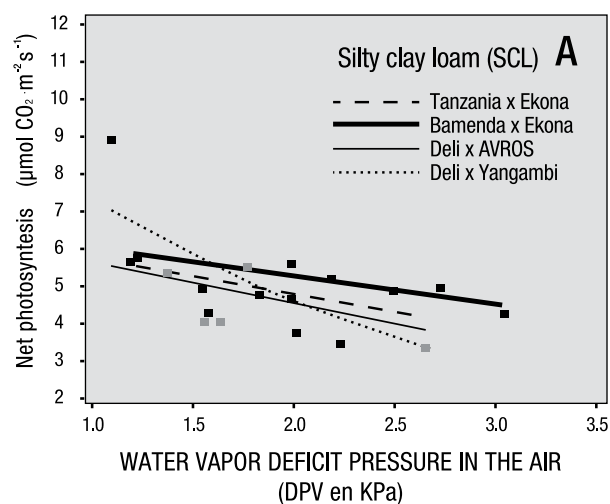


Fig. 13. Water vapor pressure deficit in the air and net photosynthesis in oil palms of four varieties (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS, Deli x Yangambi) planted in two soil types (silty clay loam and loamy sand). Tumaco, Colombia

Transpiration (T)

Daily behavior (8:00 to 17:00 hours) of transpiration was similar in both soils as long there was available water for the plants (ψ_s between -0.03 and -0.30 MPa). T increased (0.80 and 3.40 mmol H₂O m⁻²s⁻¹) between 8:00 am and noon, and then decreased, which was also expected (Foong 1999, Suresh and Nagamani 2006).

T varied between varieties ($P < 0.05$) planted in the sandy loam soil. The highest value of T was for Deli x Yangambi (2.45 mmol H₂O m⁻²s⁻¹), and the lowest for Bamenda x Ekona (2.19 mmol H₂O m⁻²s⁻¹) (Table 5). Lower values of T are associated in oil palm and other species with a reduction in stomatic conductance (g_s) which is a strategy to prevent water loss (Kallarackal et al. 2004, Haniff et al. 2005). As expected, g_s values varied similar to T values in all four oil palm varieties studied: lower in Bamenda x Ekona compared to Deli x Yangambi in the sandy loam soil, which is an additional indication of the ability of the first variety to better control gas diffusion through the stomata and maintain a more appropriate water balance. Clearly, an anatomical study of stomata distribution on the leaves of all four oil palm varieties could help elucidate the differences found in water economy.

Table 5. Transpiration measured in leaf 4 in the phyllotaxis (mmol H₂O m⁻² s⁻¹) in four oil palm varieties at the nursery stage. Measures taken during three consecutive days. Soils had water potentials between 0.03 and -0.30 MPa. Tumaco, Colombia

Variety	Silty clay loam	Loamy sand
Tanzania x Ekona	2.29 ab	2.28 a
Bamenda x Ekona	2.19 a	2.36 a
Deli x AVROS	2.33 ab	2.35 a
Deli x Yangambi	2.45 b	2.40 a

Means with the same letters do not differ (Duncan: $P > 0.05$)

T values between 10:00 and 11:00 hours decreased in all four varieties as the soil dried, which was also the case for *Nf*. Deli x Yangambi had the highest values of T in both soils studied, and the behavior was more noticeable in the silty clay loam.

Water use efficiency ($WUE = F_n/T$)

WUE varied between varieties as the soil dried (10:00 - 11:00 hours). Bamenda x Ekona had the best value (3.9 $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$), and Deli x AVROS was the worst (3.4 $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$) (Table 6). All values determined for WUE were within expected for oil palm of that age (Noor et al. 2005, Noor and Harun 2007).

Changes in the magnitude of WUE were similar than in N_f : Bamenda x Ekona had the highest values, associated with low values for T (silty clay loam soil) and the highest value for Ψ_n , all this indicating a better control of water status during the first hours of the

morning (Tables 3 and 5). Since WUE is related to g_s , it could be used as a good indicator for tolerance to water stress (Noor et al. 2005, Noor and Harun 2007).

Table 6. Water use efficiency in leaf 4 of the phyllotaxis (10:00-11:00 am) in four nursery oil palm varieties after 35 days of soil drying by evapotranspiration. Tumaco, Colombia

Variety	Water use efficiency ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$)
Tanzania x Ekona	3,6 ab
Bamenda x Ekona	3,9 b
Deli x AVROS	3,4 a
Deli x Yangambi	3,5 ab
Means with the same letters do not differ (Duncan: $P > 0.05$)	

Conclusions

The psychrometric methodology was successfully used to quantify soil and leaf water potential in young (nursery) oil palms under tropical moist forest conditions, and the response to water deficit could be estimated with data for leaf water potential, transpiration and net photosynthesis.

It was shown that oil palms can go through periods of important water stress when extreme conditions occur, such as El Niño/La Niña events where soil physics can favor water saturation (as in the silty clay soil) or water deficit (as in the sandy loam soils). A particular sequence of such extreme events may predispose the plants to disorders such as spear rots.

Transpiration (T), leaf water potential (Ψ_n) and net photosynthesis (N_f) showed great sensitivity in differentiating the response of the four oil palm varieties to water deficit. Comparable results had been obtained with other varieties (Martínez et al. 1999, Brito et al. 2006). Evapotranspiration and water use efficiency was also similar to what had been observed in oil palm in other studies in Malaysia, Indonesia, India, Nigeria and Costa Rica. However, the maximum value observed for net photosynthesis was

lower than reported for young oil palms in Malaysia and Indonesia. On the other hand, it was clear the reduction in net photosynthesis caused by an increase in water vapor pressure deficit in the air, as observed in West Africa and Southeast Asia.

The physiological response of the four oil palm varieties to soil drying in time was different and showed concordance with had been observed in adult palms of the same varieties in the field. Values of leaf water potential, net photosynthesis, transpiration and water use efficiency varied between varieties, and supported the ranking of them according their tolerance to water deficit: Bamenda x Ekona and Tanzania x Ekona > Deli x Yangambi > Deli x AVROS (Alvarado and Sterling 2005, Chinchilla et al. 2007). The results allow the study of the response to water deficit in new varieties at the nursery stage. Since the initial response to stress is not specific, the information obtained at the nursery stage can also be taken as an indicator of the response to stress in general and even to some disorders like spear rots which seem to be related to stress.

Acknowledgements

We are grateful to the Ministry of Agriculture and Rural Development, CORPOICA, Inversiones Rankin Bolívar and Cordeagropaz in Colombia; all members of the alliance that financed this research. And to CENICAFÉ (Colombia) and ASD de Costa Rica for their support and for supplying planting materials.

Literature

- Acosta A., Munévar F. 2003. Bud rot in oil palm plantations: Link to soil physical properties and nutrient status. Colombia. *Better Crops International* 12(2): 22-25.
- 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.
- 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. 2008. Estudios realizados sobre o amarelecimento fatal do dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) no Brasil. Embrapa, serie documentos. Belém Paraná, Brasil. 57 p.
- 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., Málíkov 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.
- Cano R. 2000. Respuesta fotosintética y transpiratoria del caféto (*Coffea arabica*) a la humedad del aire y del suelo. Tesis Ing. Agron. Univ. Nac., Palmira, Colombia. 80 p.
- Chinchilla C., Alvarado A., Albertazzi H., Torres R. 2007. Tolerancia a las pudriciones del cogollo en fuentes de diferente origen de *Elaeis guineensis*. *Palmas*, 28(1): 273-284.
- 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.
- Cornaire B., Daniel C., Zuily-Fodil Y., Lamade E. 1993. Oil palm performance under water stress. Background to the problem, first results and research approaches. Proc. 1993. PORIM International Palm Oil Congress, Malaysia. p. 159-172.
- Corley R., Tinker P. 2003. The oil palm. Oxford Blackwell Science, Blackwell Publishing Company. 562 p.
- 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 2011. Bol. Econ. Balance del sector palmero colombiano en 2010. Bogotá. 6 p.
- Fedepalma 2010. Anuario estadístico 2010. La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y el mundo 2005-09. Bogotá. 158 p.
- Foong S. 1999. Impact of moisture on potential evapotranspiration, growth and yield of oil palm. In: Darus A., Chan K., Sharifah S. (eds.). Proc. 1999 PORIM Intern. Palm Oil Congress. Malaysia. p. 64-86.
- Gliessman S. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. CATIE. Turrialba, CR. 359 p.
- Gomes F., Prado C. 2007. Ecophysiology of coconut palm under water stress. *Braz. J. Plant Physiol*, 19(4): 377-391.
- Gómez O. 2000. Efectos del estrés hídrico sobre la actividad fotosintética de café cv. Colombia. Tesis Ing. Agron.. Univ. Nac. Palmira, Colombia. 67 p.
- Haniff, M.H.; Ismail, S.; Idris, A.S. 2005. Gas exchange responses of oil palm to *Ganoderma boninense* infection. *Asian Journal of Plant Sciences*, 4(4): 438-444.
- Hanif M. 2006. Gas exchange of excised oil palm (*Elaeis guineensis*) fronds. *Asian J. of Plant Sciences*, 5(1): 9-13.

- Henson I. 1993. Carbon assimilation, water use and energy balance of oil palm plantation assessed using micrometeorological techniques. Proc. of the 1993 PORIM, Intern. Palm Oil Congress, Agric. Pp. 137-158
- Henson I., Haniff H. 2005. The influence of climatic conditions on gas and energy exchanges above a young oil palm stand in North Kedah, Malaysia. J. of Oil Palm Research, 17:73-91.
- Henson I., Noor M., Haniff M., Yahya Z., Mustakim S. 2005. Stress development and its detection in young oil palms in North Kedah, Malaysia. J. of Oil Palm Research, 17: 11-26.
- Henríquez H., Cabalceta A. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. Univ. Costa Rica. 112 p.
- IDEAM 2008. Vulnerabilidad. Cap.4. En: IDEAM. El ABC del cambio climático en Colombia. Bogotá. 320 p.
- IDEAM. 2009. Estación Granja El Mira, Tumaco, Colombia. 10 p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Nariño. Bogotá. 1017 p.
- Kallarackal J., Jeyakumar P., Jacob G. 2004. Water use of irrigated oil palm at three different arid locations in peninsular India. J. Oil Palm Res. 16(1): 45-53.
- Losch R., Schulze E. 1995. Responses of photosynthesis to environmental factors. In: Schulze E., Caldwell M. (eds.). Ecophysiology of photosynthesis. Springer-Verlag, Berlin. p. 186-204.
- Martinez 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., Harun M. 2007. Technique for determining water use efficiency (WUE) in oil palm. MPOB Information Series 368. Internet 19/9/09.
- Noor M., Ismail M., Harun M., Mahmood M. 2005. Leaf study and gas exchange of commercial DxP and PS.1 oil palm seedlings. Proc. of Agric., Biotec. and Sustainability Conf. PIPOC 2005. MPOB Intern. Palm Oil Congress. Malaysia. p. 833-837.
- Ojeda G., Perfect E., Alcaniz J., Ortiz O. 2007. Fractal analysis of soil water hysteresis as influenced by sewage sludge application. Geoderma, 134: 386-401.
- Peters A., Durner W. 2008. Simplified evaporation method for determining soil hydraulic properties. Journal of Hydrology, 356: 147-162.
- Rucks L., García F., Kaplan A., Ponce de León J., Hill M. 2004. Propiedades físicas del suelo. Fac. Agron. Univ. República, Dpto. Suelos y Aguas. Montevideo, Uruguay. 68 p.
- Rundel P., Jarrell W. 1989. Water in the environment. In: Pearcy R., Ehleringer J., Mooney H., Rundel P. Plant Physiological Ecology. Chapman and Hall. London. pp. 29- 56.
- Setyio I., Subronto M., Lamade E. 1996. Photosynthetic rate of the three different DxP clones: the sensitive to vapor pressure deficit in North Sumatra. Proc. Agric. Conf. PIPOC 2005. PORIM Intern. Palm Oil Congress. Malaysia. p. 421-426.
- 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.
- Texeira W., Cubas O., Martins C., De Freitas P., Lobato R., Ramalho F. 2010. Características físicas do solo adequadas para implantacao e manutencao da cultura de palma de óleo na amazonia. En: De Freitas P., Texeira W. Zoneamento agroecológico, producao e manejo para a cultura da palma de óleo na amazonia. Parte II. Embrapa solos, Rio de Janeiro, Brasil. 137-144 p.
- Villalobos E., Marin W. Berninger F. 2001. Transporte y partición de carbón. En: Villalobos E. Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Procesos fisiológicos básicos. Fascículo I. San José, Editorial Universidad de Costa Rica. p. 84-117.
- Venturieri A., Fernandes W., Boari A., Vasconcelos M. 2009. Relacao entre ocorrencia do amarelecimento fatal do dendezeiro e variaveis ambientais no estado do Pará. Embrapa Amazonia Oriental. Instituto Chico Mendes de Conservacao da Biodiversidade, Brasil. Anais XIV Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil. INpe, p. 2523-530.
- Wescor. 2006. PST-55(-SF) and PCT-55(-SF) soil hygrometer / psychrometer. Document number: Man / PST-55 and PCT-55. Wescor environmental products division. Logan, UT, USA. 3P. www.wescor.com 30/1/2006.
- 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 enviromental products división. Logan, UT, USA. 3P. www.wescor.com 30/1/2006.
- Yusop Z., Hui C., Garusu G., Katimon A. 2008. Estimation of evapotranspiration in oil palm catchments by short-time period water-budget method. Malaysian J. of Civil Engineering, 20(1): 160-174.

Respuesta fisiológica de la palma aceitera joven (*Elaeis guineensis*) al secamiento por evapotranspiración en dos tipos de suelo en condiciones de invernadero y posibles relaciones con la respuesta a las pudriciones de cogollo

Rafael Reyes,¹ Nestor Riaño,² Carlos Chinchilla,³ Norbey Ibarra⁴

Resumen

Durante una primera etapa se determinó el secado por evaporación (E) en dos Inceptisoles (FAL: franco arcillo limoso y AF: arenoso franco) utilizados para el cultivo de la palma aceitera en Tumaco (Nariño, Colombia). El estudio se realizó en invernadero en palmas jóvenes sembradas en potes con los dos tipos de suelo.

El proceso inicial de secado rápido tomó 20 días en el suelo FAL y 38 días en el AF. Luego de esos periodos la pérdida diaria de agua fue menor (62 días en el suelo AF y 80 días en el FAL). El proceso de secado se ajustó a dos modelos: uno potencial decreciente ($\psi_s = a \cdot X^b$) al relacionar el ψ_s con el tiempo; y el otro exponencial decreciente ($\psi_s = a e^{-bx}$), cuando se relacionó el ψ_s con el peso del pote. Con esta información se obtuvieron las curvas de secamiento de los dos suelos por E a dos profundidades (10 y 20 cm). Las tasas de secamiento en el tiempo fueron mayores para el suelo AF. El agua utilizable por las plantas (ψ_s -0,03 a -1,50 MPa) se agotó en el suelo AF en 73 días, pero el FAL aún disponía de agua utilizable a los 100 días (ψ_s de -0,55 MPa).

Durante una segunda etapa, se estudió el comportamiento fisiológico de palmas de ocho meses de edad de cuatro variedades (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS y Deli x Yangambi) conforme el suelo perdía humedad por evapotranspiración. Las palmas se sembraron en potes de 30 cm de diámetro y 40 cm de altura. El proceso de secado fue similar en los dos suelos (mayor pérdida de agua durante los primeros 18 días) y se ajustó a un modelo exponencial decreciente ($\psi_s = Y_0 + a e^{(-bx)}$) al relacionar el ψ_s con el tiempo de secado. Se observó una relación entre el ψ_s y el ψ_s a 20 cm y entre la fotosíntesis neta (F_n) y el ψ_s a 20 cm de profundidad. La F_n y la transpiración (T) disminuyeron durante el proceso de secado del suelo en las cuatro variedades en ambos suelos. La mayor F_n se presentó en el suelo AF y en la variedad Bam. x Eko. La variedad D x Yan. mostró los mayores valores de T en los dos suelos. La eficiencia en el uso del agua (EUA) fue mayor en Bam. x Eko.

Se determinó que el uso de la tecnología psicrométrica para cuantificar el potencial hídrico del suelo y del tejido foliar fue adecuada en condiciones de bosque tropical húmedo. La respuesta de las palmas de vivero al déficit hídrico puede ser estimada con los valores de ψ_s , T y de F_n . La respuesta de tolerancia de palmas jóvenes al déficit hídrico en las cuatro variedades estudiadas corresponde con las observaciones de campo en estos mismos materiales genéticos: Bam. x Eko. y Tan. x Eko. presentaron mayor tolerancia, D x Yan., tolerancia intermedia y D x A mayor susceptibilidad. Existe entonces la posibilidad de la selección temprana (vivero) de genotipos con tolerancia a déficit hídrico, y con tolerancia a disturbios como la pudrición del cogollo (PC), ya que la tolerancia al estrés y a este desorden están relacionadas. Periodos de alta precipitación favorecen la saturación con agua en el suelo FAL, mientras que en el suelo AF la planta sufre más durante periodos de escasa precipitación. Estos periodos de estrés se intensifican durante los fenómenos de La Niña y el Niño y pueden estar relacionados con un incremento de la incidencia de pudriciones del cogollo en la palma aceitera en la región de estudio.

Palabras clave: palma aceitera, déficit hídrico, evapotranspiración, potencial hídrico, psicrometría.

¹ I. Agron. 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, lniarra@gmail.com

Introducción

El agua en el suelo que puede ser usada por las plantas depende de la diferencia de energía libre del agua entre el suelo y las raíces. Cada suelo, según su textura, tiene una curva característica de retención de humedad que determina la cantidad utilizable por las plantas (Ojeda et al. 2007).

El suelo pierde agua por evaporación y la tasa de pérdida depende de la radiación solar, la temperatura, la velocidad del viento y el déficit de presión de vapor de agua en el aire. Adicionalmente, se pierde agua por la cobertura vegetal del suelo, que obedece a la dinámica del continuo suelo-planta-atmósfera a través de la transpiración (Gliessman 2002).

Los requerimientos teóricos de precipitación de la palma aceitera están entre 150 y 280 mm/mes, con una evaporación máxima de 150 mm/mes y una lámina promedio de almacenamiento en el suelo de 125 mm (Corley and Tinker 2003). No obstante, la palma aceitera es cultivada en suelos muy disímiles, como en la India, en donde se han determinado valores de evaporación del suelo muy altos (Kallarackal et al. 2004).

Mediante el intercambio gaseoso en las plantas, el agua es tomada y transportada desde la solución del suelo hasta la atmósfera y ello permite a la planta regular su temperatura y obtener los iones minerales esenciales para su desarrollo. La fotosíntesis (F) y la transpiración (T) dependen de dicho intercambio gaseoso.

El diferencial de potencial hídrico (ψ) permite la absorción del agua por la raíz y es la fuerza motriz para el movimiento del agua líquida a través de los tejidos de la planta. El diferencial de déficit de presión de vapor de agua en el aire (DPV) determina el movimiento del vapor de agua desde el tejido foliar a la atmósfera.

La evaporación está determinada por los diferenciales de potencial hídrico entre la solución del suelo y el aire circundante, modulado por la temperatura y la conductividad hidráulica del suelo. La transpiración depende de la respiración celular, proceso que aporta la energía metabólica requerida para que el agua sea absorbida por las células de la raíz. Por tanto, cuando el a

agua ocupa gran parte o todo el espacio poroso del suelo, disminuye la difusión del oxígeno requerido para el proceso respiratorio, la toma de iones y la absorción de agua; esta disminución afecta el intercambio gaseoso, el crecimiento y por ende la productividad biológica. Por el contrario, el déficit de agua en el suelo ocasiona mayor gasto metabólico, pues se requiere una mayor succión para suplir las necesidades hídricas del sistema; a la vez que se cierran los estomas para preservar la integridad hídrica de la planta.

El intercambio gaseoso también depende de factores genéticos que determinan la habilidad de absorber y transportar el agua y de ser más competitivo en la captura y asimilación fotosintética del carbono. En la palma aceitera, la relación entre la fijación del carbono (fotosíntesis neta, F_n) y el agua liberada por la transpiración (T), denominada eficiencia en el uso del agua por la planta (EUA), ha sido utilizada como un criterio de selección de genotipos, y los valores encontrados están entre 2,8 y 8,0 $\mu\text{molCO}_2/\text{mmolH}_2\text{O}$ (Noor y Harun 2007). El consumo de agua de la palma aceitera, medido a través de la T , en condiciones no limitantes de suministro de agua, puede estar entre 70% y 90% de la evapotranspiración potencial. En palmas jóvenes se midieron valores de T entre 2,0 y 6,5 mm por palma/día (Noor et al. 2005).

Los estudios sobre el secamiento por evaporación de los suelos cultivados con palma aceitera y la respuesta fisiológica de la planta son escasos; a pesar de que en muchas de las regiones donde se cultiva esta especie, ocurren periodos secos prolongados (Corley and Tinker 2003, Kallarackal et al. 2004).

En Tumaco (Nariño, Colombia), llueve cerca de 3.000 mm/año (generalmente con buena distribución), y la evapotranspiración potencial anual es de alrededor de 1.030 mm; por lo cual normalmente no se presenta déficit hídrico para la palma aceitera. No obstante, la ocurrencia de eventos extremos climáticos (ciclos ENOS: fenómenos del Niño y de la Niña) ocasionan periodos inusualmente secos o con excesos de precipitación, que han afectado negativamente al cultivo (Cadena et al. 2004; IDEAM 2008).

Desde el 2005 la palma aceitera en Tumaco ha sido afectada por el trastorno conocido como pudrición del cogollo (PC), el cual alcanzó en el 2010 una incidencia promedio de 80% en aproximadamente 26.000 ha plantadas, y se ha mantenido en ascenso tanto en Tumaco como en otras zonas palmeras de Colombia (Fedepalma 2010 y 2011). La incidencia, la severidad y la posibilidad de que las plantas afectadas se recuperen están asociadas con cambios bruscos en la disponibilidad del agua en el suelo que causan tanto déficit como exceso (Acosta y Munévar 2003, Albertazzi et al. 2005; Chinchilla 2010, Texeira et al. 2010).

Adicionalmente, se ha determinado que dentro de la especie *E. guineensis*, es posible encontrar fuentes de tolerancia a factores de estrés (déficit hídrico, bajas temperaturas) y a disturbios como la PC. También existe evidencia sobre la existencia de una relación entre tolerancia a estrés y tolerancia a disturbios tipo PC (Chinchilla et al. 2007).

El estudio del comportamiento del agua en los suelos utilizados para el cultivo de la palma aceitera permitiría hacer una mejor selección y manejo de

estos suelos, de manera que se disminuyan las probabilidades de que el trastorno de la PC se presente con gran incidencia y severidad.

Si se acepta la hipótesis de la relación entre el estrés hídrico y la incidencia del disturbio PC en palma aceitera, entonces profundizar en el conocimiento del efecto del comportamiento del agua en el suelo sobre el intercambio gaseoso y otras variables fisiológicas de la palma aceitera, podría contribuir a seleccionar genotipos mejor adaptados, diseñar estrategias de manejo y dilucidar el factor biótico o abiótico asociado con la incidencia de la PC.

El propósito del presente estudio fue conocer la dinámica del proceso de secado por evaporación/evapotranspiración de dos suelos normalmente utilizados para el cultivo de la palma aceitera en la región de Tumaco, y determinar el efecto del secamiento del suelo sobre la economía hídrica e intercambio gaseoso de cuatro genotipos de palma aceitera joven que han mostrado en el campo un comportamiento diferencial ante el estrés abiótico.

Materiales y Métodos

La investigación se dividió en dos etapas y se realizó en la Estación Experimental El Mira (Corpoica), ubicada en la región sur de la costa pacífica de Colombia, municipio de Tumaco, Nariño (1°32'58" latitud norte, 78°41'21" longitud oeste y 16 msnm). El ecosistema natural en la región es bosque húmedo tropical (bh-T), con precipitación acumulada anual de 3.067 mm/año, temperatura media promedio anual de 25,5 °C, 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/cm² (IDEAM 2009).

Etapas 1: Pérdida de humedad por evaporación en dos suelos

Se utilizaron dos suelos (series Pital: PT y Piragua: PR) que son normalmente usados para el cultivo de la palma aceitera en la región. El paisaje es de terrazas de la planicie aluvial del Río Mira, y los suelos se clasifican

como *Vitrandid Eutrudepts* (PT: franco arcillo limoso, pobremente drenados y con buena retención de humedad), y *Andic Dystrudepts* (PR: arenoso franco, bien drenado y con baja capacidad de retención de humedad) (IGAC 2004).

De cada suelo se obtuvieron muestras compuestas a cinco profundidades para determinar textura, densidad aparente, densidad real, porosidad y curvas de retención de humedad a diferentes succiones (0,03; 0,15; 1,0 y 1,5 MPa) (Cuadros 1 y 2).

Los suelos se homogenizaron por tamaño de agregado (10 mallas), y se llenó seis potes (30 cm de diámetro y 40 cm de altura con hoyos de drenaje en el fondo) con cada suelo, obteniéndose aproximadamente 30 kg de suelo en cada pote. Los potes tenían orificios laterales a 10 y 20 cm del borde superior donde se colocaron sensores psicrométricos para determinar la humedad (Wescor, PST-55-30-SF) (Wescor 2006).

Los suelos se mantuvieron húmedos, luego se les adicionó agua hasta saturación, y después se permitió que drenaran naturalmente durante 72 horas. A partir de ese momento se inició el registro de la información. Los datos se tomaron por 100 días durante los cuales no se agregó más agua y no se utilizó ningún tipo de cobertura sobre el suelo.

El peso de los potes se registró diariamente para determinar la pérdida de agua por evaporación y los datos fueron transformados a lámina de agua. Cada tres días se determinó a 10 y 20 cm de profundidad, la corriente eléctrica en microvoltios generada en el sensor psicrométrico, conectado al equipo microvoltímetro Wescor HRT-33. A partir de los datos se obtuvieron los potenciales hídricos del suelo empleando las

metodologías indicadas por Wescor (2006) y por Rundel y Jarrell (1989). Durante todo el experimento se registró diariamente, cada hora, la temperatura interna de la casa de malla, utilizando un termógrafo (Dickson SL4350).

Los seis potes con cada tipo de suelo se ordenaron en un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial. La unidad experimental fue el pote. La tasa de secamiento de los suelos (b) a cada profundidad respecto al tiempo expresada en porcentaje, se obtuvo a través del modelo potencial ajustado $\psi_s = a \cdot X^b$, que relaciona el potencial hídrico del suelo (ψ_s) con el avance del tiempo de secado. La tasa de secamiento (b) indica las unidades porcentuales de secamiento por unidad de porcentaje de aumento del tiempo.

Cuadro 1. Características físicas de los suelos de las series Pital (PT) y Piragua (PR). Tumaco, Colombia

Suelo serie	Profundidad (cm)	Textura	%		
			A (Arena)	L (Limo)	Ar (Arcilla)
Pital (PT)	0 - 20	F.L.	19,1	56,7	24,3
	20 - 40	F.Ar.L.	17,5	44	38,5
	40 - 60	F.Ar.L.	18,9	48	33,1
Piragua (PR)	0 - 20	A.Fr.	79,1	11,1	9,8
	20 - 40	A.Fr.	79,4	11,8	8,8
	40 - 60	A.Fr.	79,2	11,9	8,9

Cuadro 2. Retención de humedad y contenido de agua utilizable por las plantas en los suelos de las series Pital (PT) y Piragua (PR). Tumaco, Colombia

Suelo serie	Textura	Profundidad (cm)	Retención de humedad (humedad volumétrica %)				Lámina de agua utilizable por plantas (mm)
			MPa de determinación				
			0.03	0.15	1.00	1.50	
Pital	Franco arcillo limoso (FAL)	0 - 5	49,1	46,9	45,6	44,5	1,79
		5 - 10	46,9	45,6	44,4	43,5	1,65
Piragua	Arenoso franco (AF)	0 - 5	43,1	41,7	40,7	39,4	1,05
		5 - 10	45,2	43,6	42,2	41,7	1,13

Suelo serie	Profundidad (cm)	Peso (g)		Densidad aparente (g/cm ³)	Densidad real (g/cm ³)	Humedad (%)	Porosidad(%)			
		Húmedo	Seco				Total	Micro	Meso	Macro
Pital (PT)	0 - 5	125,4	74,8	0,8	2,5	40,4	68,3	44,5	4,6	19,2
	5 - 10	139,5	90,8	1,0	2,6	34,9	63,2	43,5	3,4	16,3
Piragua(PR)	0 - 5	110,5	62,7	0,7	2,5	43,3	73,4	39,4	3,7	30,3
	5 - 10	111,4	61,6	0,7	2,6	44,6	75,2	41,7	3,5	30,0

* F.L. franco limoso; F.Ar.F. franco arcillo limoso; A.Fr. arenoso franco.

Etapa 2: Respuesta fisiológica de palma aceitera joven al secamiento del suelo por evapotranspiración

La investigación se llevó a cabo entre septiembre de 2007 y julio de 2008 en condiciones de invernadero utilizando los mismos suelos: Inceptisoles, series Pital (PT) y Piragua (PR), con los cuales se llenaron los potes en donde se sembraron posteriormente las variedades Tanzania x Ekona (Tanz. x Eko.), Bamenda x Ekona (Bam. x Eko.), Deli x AVROS (D x A) y Deli x Yangambi (D x Yang.). Experiencias previas de campo con estas

variedades indicaban características contrastantes en su respuesta al déficit hídrico y a la incidencia de disturbios tipo pudrición de cogollo. D x A es considerada muy susceptible al estrés en general y a la PC y Bam. X Eko. presenta un comportamiento opuesto (Alvarado y Sterling 2005; Chinchilla et al. 2007).

Se sembró una planta de dos meses de edad de cada variedad en potes para un total de 20 potes por tipo de suelo, que se dispusieron en un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial: dos (suelos) x cuatro (variedades) x cinco repeticiones,

donde cada repetición correspondió a un pote con su respectiva palma por variedad. Cuando las plantas alcanzaron ocho meses de edad, se adicionó lentamente agua a los potes hasta saturación y luego se dejaron drenar durante las siguientes 72 horas. Los datos se tomaron durante los siguientes 70 días de secado del suelo por evapotranspiración natural, cuando no se agregó agua adicional.

Cada tres días se pesaron los potes y se midió el potencial hídrico del suelo y foliar y el intercambio gaseoso. El peso del pote (suelo más planta) se determinó con una balanza con aproximación de un gramo. El potencial hídrico del suelo se determinó a 10 y 20 cm de profundidad con sensores psicrométricos PST-55-30-SF, unidos a un microvoltímetro Wescor HRT-33 (Wescor, 2006). El potencial hídrico foliar se midió entre las 6:00 y 8:00 horas del día en los foliolos centrales de la hoja número cuatro en la filotaxia con la cámara de hojas L-51-SF (Wescor Inc.), unida a un microvoltímetro Wescor HRT-33 (Wescor, 2006a).

El intercambio de gases (fotosíntesis neta y transpiración) se midió en los foliolos centrales de la hoja número cuatro, entre las ocho y 17 horas, con intervalos de una hora, con el equipo portátil LI-6200 (Licor, Nebraska, USA). Este equipo consta de una cámara para hojas con un litro de capacidad de aire, que contiene sensores de temperatura, humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa, un analizador infrarrojo de gases 6250 y una consola de captura, manejo y transformación de datos. Dado que la mayor actividad fotosintética de la palma aceitera en la región de estudio ocurrió entre las 09:00 y 11:00 horas, se puso particular atención durante este periodo.

Análisis estadístico

Se hizo un análisis de estadística descriptiva, análisis de varianza y análisis multivariado por componentes principales, y se obtuvieron las funciones matemático/estadísticas que mejor describen el comportamiento de las variables de respuesta y sus relaciones; utilizando los programas MS-Excel, SAS®Analytics Pro y Sigma Plot®11.

Resultados y Discusión

Pérdida de humedad en los dos suelos

Inicialmente, y como era de esperar por su mayor contenido de arcilla, el potencial hídrico del suelo franco arcillo limoso (-0,012 y -0,009 MPa a 10 y 20 cm de profundidad) fue mayor (-0,030 y -0,011 MPa) que en el suelo arenoso franco. Las variaciones diarias de la temperatura (22.9 °C a las cinco de la mañana y 34.7 °C como máximo a las 13 horas, Fig. 1) y la radiación solar dentro del invernadero, se mantuvieron más o menos constantes durante el periodo de evaluación (100 días) del secado de los suelos por evaporación.

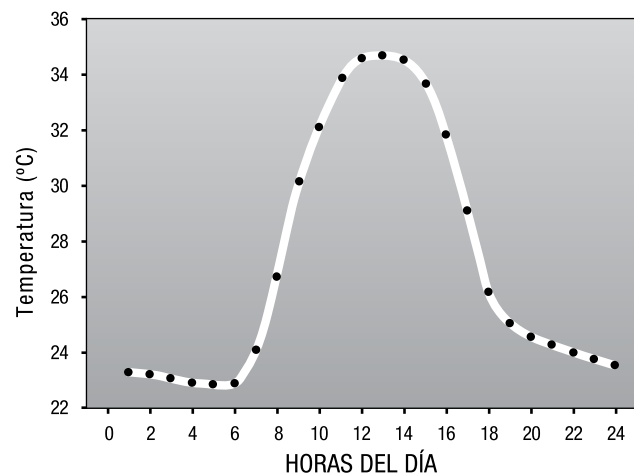


Fig. 1. Variación diaria de la temperatura en el invernadero (con cubierta de plástico). Tumaco, Colombia.

⁵ Determinación previa de la curva diaria de asimilación de CO₂.

La disminución del potencial hídrico del suelo (ψ_s) en función del tiempo transcurrido desde el ingreso del agua y de la profundidad medida, siguió un modelo potencial decreciente de la forma $\psi_s = aX^b$ ($r^2 > 0,92$) (Fig. 2). La tendencia fue más pronunciada en el suelo arenoso franco (AF), en el cual se identificaron dos etapas: la primera lenta con valores que alcanzaron -0,5 MPa a los 38 días, seguida de un incremento en la intensidad del cambio de potencial hasta el final del experimento donde se obtuvieron valores de -4,2 y -7,1 MPa a 10 y 20 cm de profundidad. (Fig. 2B). El suelo franco arcillo limoso (FAL) presentó únicamente la primera etapa de disminución lenta, y alcanzó durante los 100 días del experimento valores similares a los del suelo AF para la misma etapa (-0,79 y -0,55 MPa a 10 y 20 cm de profundidad) (Fig. 2A). Similares resultados han sido obtenidos en este tipo de suelos por otros autores (Henríquez y Cabalceta 1999).

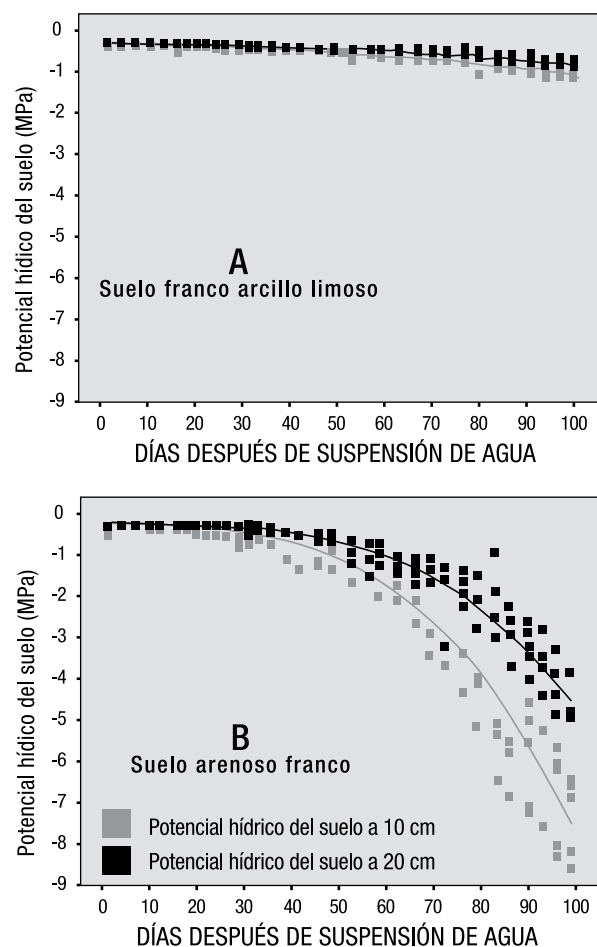


Fig. 2. Relación entre el potencial hídrico del suelo a 10 y 20 cm de profundidad en función del tiempo. Tumaco, Colombia.

Se acepta que el agua retenida en el suelo entre -0,03 y -0,5 MPa puede ser rápidamente aprovechable por las plantas. En el caso del suelo FAL, esta condición se mantuvo durante 85 días, pero únicamente por 45 días en el AF (Fig. 2). El agua teóricamente utilizable por las plantas (entre -0,03 y 1,5 MPa) se evaporó en el suelo AF en 63 y 73 días (a 10 y 20 cm de profundidad). No obstante, el suelo FAL disponía de esta agua aún después de 100 días de secado, con valores de -0,79 MPa a 10 cm y -0,55 MPa a 20 cm de profundidad.

La tasa de secamiento del suelo (valor de b obtenido al relacionar ψ_s con el tiempo de secado: $\psi_s = aX^b$) fue 3,21% y 3,51% a 10 cm y 20 cm de profundidad en el suelo FA y 1,32% y 1,26% en el suelo FAL; sin embargo, no se encontró diferencias significativas entre las tasas de secamiento a ambas profundidades dentro de cada suelo. La mayor tasa de secamiento del suelo AF se debe a una mayor cantidad de macroporos y menos arcillas.

Para obtener una metodología más sencilla para futuros estudios, se relacionó el potencial hídrico del suelo con los cambios de peso del pote con el suelo. El mejor modelo de ajuste para este comportamiento, independientemente del suelo y profundidad estudiados, fue del tipo exponencial decreciente de la forma $\psi_s = ae^{-bx}$ ($r^2 > 0,95$), cuando se relacionó el ψ_s con el peso del pote más suelo (Fig. 3), lo cual concuerda con lo descrito para otros tipos de suelo (Cano, 2000). El comportamiento fue similar al obtenido para la relación entre el ψ_s y el tiempo de secado (Fig. 2), lo cual indica que se puede usar el peso del pote más suelo como medida indirecta para el estudio del secamiento de suelos.

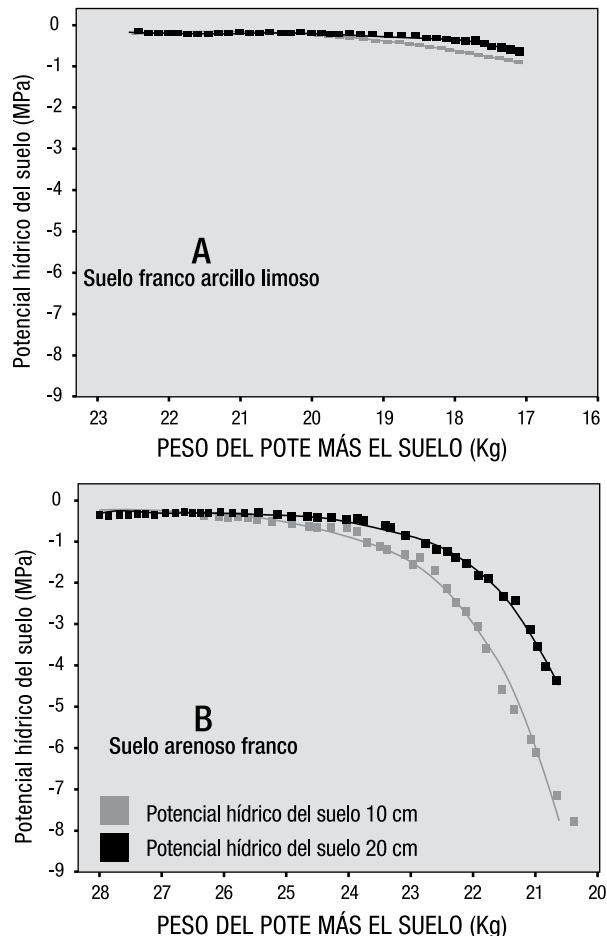


Fig. 3. Relación entre el potencial hídrico del suelo y el peso del pote. Tumaco, Colombia.

El comportamiento de la evaporación (E) en términos de lámina de agua (mm), al relacionar esta con el tiempo transcurrido, se describe mediante un modelo exponencial decreciente de la forma:

$$E = y_0 + a \cdot e^{-b \cdot x} \quad (r^2 > 0,69, p < 0,0001), \text{ (Fig. 4).}$$

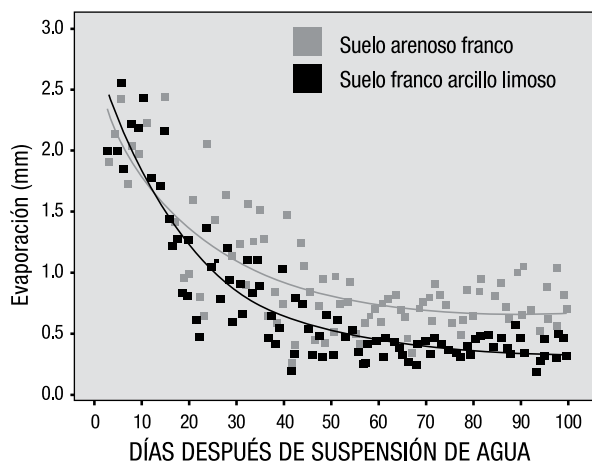


Fig. 4. Relación entre evaporación y tiempo de secado en los suelos arenoso franco y franco arcillo limoso. Tumaco, Colombia.

La pérdida de agua por evaporación en los dos suelos (en términos de lámina) presentó una tasa de disminución (b) similar (Fig. 4); no obstante, las condiciones físicas de cada uno determinaron el valor mínimo: 0,3 mm en el suelo FAL y 0,64 mm en el AF.

La evaporación en términos de lámina de agua fue similar a lo encontrado en suelos cultivados con palma aceitera en la India y Colombia (Kallarackal et al. 2004; IDEAM, 2009). El proceso de evaporación en los suelos depende de su contenido de humedad, la velocidad con que se repone por capilaridad el agua evaporada en su superficie, la humedad del aire circundante y el diferencial de humedad entre los primeros centímetros cerca de la superficie, entre otros factores (Peters and Durner, 2008). En estos experimentos en invernadero, la cantidad de agua que se evaporó (2,59 - 0,14 mm/día) dependió del contenido inicial de agua y la capacidad de retención del suelo, puesto que se disturbó su conductividad hidráulica y la dinámica de capilaridad se vio limitada. El suelo FAL presentó menores tasas de evaporación como era esperable (Rucks et al. 2004).

Los resultados pueden extrapolarse a condiciones de campo en suelos sin cobertura vegetal, donde se perdería agua por evaporación a diferentes tasas en cada suelo. El suelo FAL en la región de Tumaco tendría agua disponible para la palma durante aproximadamente dos meses en condiciones de limitada oferta de lluvia. No obstante, en periodos muy húmedos, este suelo podría saturarse fácilmente y causar estrés por baja aeración en el medio radical. La segunda situación es común en la región, donde llueve más de 3000 mm cada año, con excesos durante el primer semestre, particularmente durante años de La Niña. En el suelo AF, se puede presentar un déficit hídrico importante en años del Niño.

El manejo del drenaje en suelos con alta capacidad de retención de humedad es entonces fundamental en la región de Tumaco, para evitar periodos prolongados de saturación y con ello mejorar la productividad de la palma aceitera y reducir la probabilidad de que se presenten desórdenes como las pudriciones del cogollo.

Etapa 2: Respuesta fisiológica de palma aceitera joven al secamiento del suelo por evapotranspiración

Microclima en el invernadero

Se presentaron variaciones grandes durante el día y en diferentes días. La radiación fotosintéticamente activa (RFA), el déficit de presión de vapor de agua en el aire (DPV) y la temperatura de la hoja, presentaron mayores valores diarios entre las once y las catorce horas. Los valores de humedad relativa estuvieron alrededor de 88% y oscilaron entre 65% y 98%. También se registró una mayor proporción de valores diarios de RFA menores a $400 \mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y de DPV mayores a 1,7 KPa; condiciones consideradas limitantes para la actividad fotosintética de la palma aceitera. A través del tiempo se observó una tendencia de comportamiento similar para la temperatura de la hoja y el déficit de presión de vapor circundante a ella, independiente del tipo de suelo.

Secamiento del suelo

El proceso de secado por evapotranspiración (ET) en ambos suelos, en términos de potencial hídrico del suelo (ψ_s en MPa), se ajustó a un modelo exponencial decreciente de la forma $\psi_s = Y_0 + ae^{(-b \cdot X)}$ ($r^2 > 0,76$), cuando se relacionó el ψ_s con el tiempo de secado (Fig. 5). Este modelo matemático es similar al encontrado por Cano (2000) y Gómez (2000) para el secado de suelos clasificados como andisoles en donde se cultiva café (*Coffea arabica* L.). No se encontraron diferencias significativas debidas a genotipos en las dos profundidades medidas (10 y 20 cm).

Al igual que en el experimento anterior (suelos sin planta), la velocidad de secamiento pasó de una fase de decrecimiento rápida a una lenta; solo que el agua esta vez se agotó más rápido como era de esperar por efecto de la transpiración de las plantas. En el suelo FAL a 10 y 20 cm de profundidad, este cambio de fase se alcanzó a los 25 y 35 días de la suspensión del suministro de agua respectivamente. En el suelo AF, el cambio en la velocidad de secamiento a 10 y 20 cm de profundidad ocurrió a los 35 y 18 días respectivamente (Fig. 5).

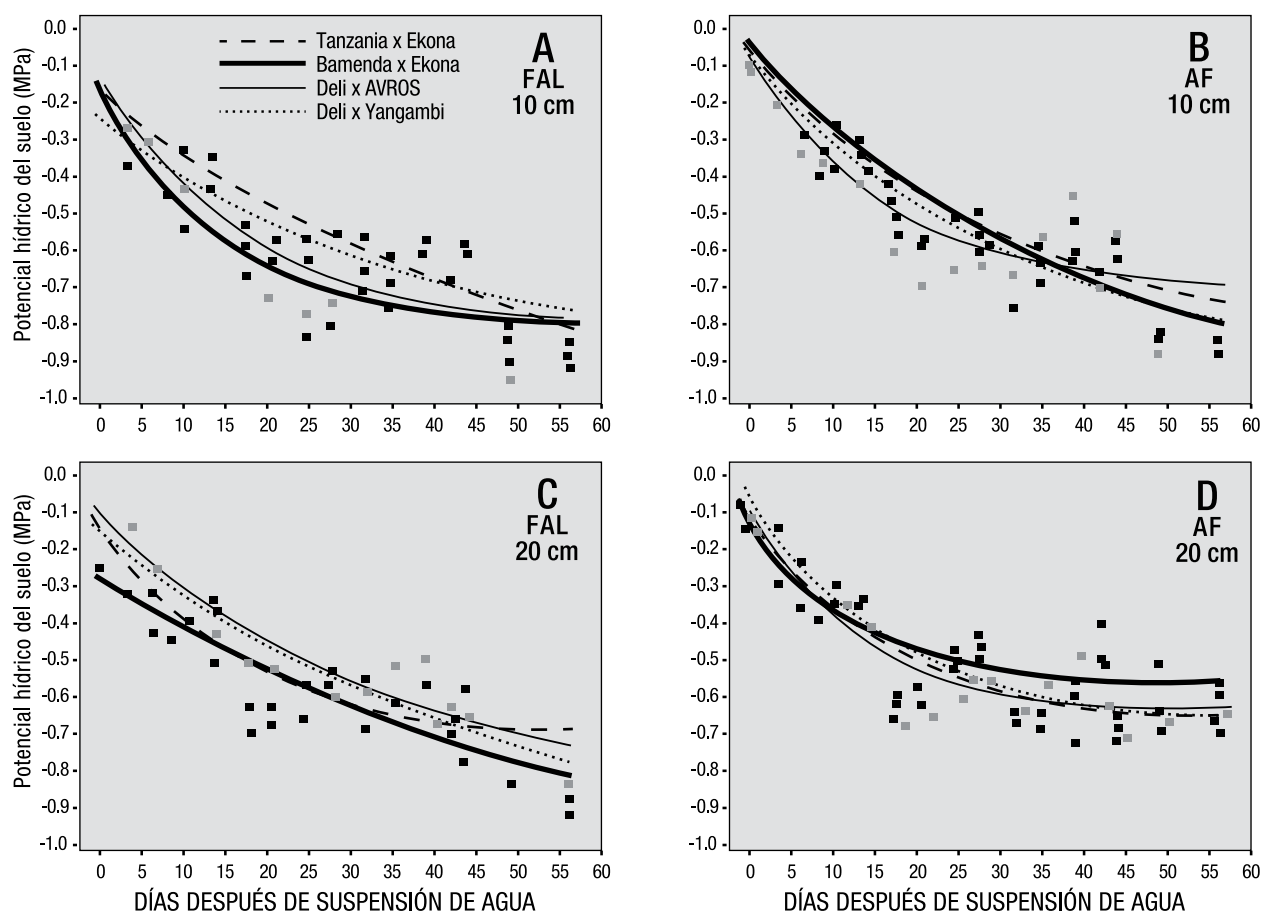


Fig. 5. Potencial hídrico del suelo a 10 y 20 cm de profundidad con plantas de cuatro variedades de palma aceitera (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS, Deli x Yangambi) después de suprimir el agua. A y C: suelo franco arcillo limoso (FAL), B y D: suelo arenoso franco (AF). Tumaco, Colombia.

La pérdida de agua rápidamente utilizable por las plantas (entre -0,03 MPa y -0,50 MPa) ocurrió durante los primeros 18 días en los dos suelos (Fig. 5), lo cual contrasta con lo observado previamente para los suelos sin las plantas, cuando la pérdida del agua rápidamente utilizable por las plantas ocurrió únicamente por evaporación: 85 y 45 días para el suelo FAL y AF respectivamente (Fig. 2) y la diferencia es debida a la transpiración de las palmas.

En el día 18 de secado aún existía agua teóricamente utilizable por las plantas ($\Psi_s < -0,50$ MPa), pero el uso de esta agua, retenida por el suelo con mayor fuerza, implica un incremento gradual de gastos metabólicos con respecto a la absorción de agua rápidamente utilizable.

La lámina de agua evapotranspirada durante el tiempo de secado no presentó diferencias ($P > 0,05$) entre suelos ni entre variedades en cada tipo de suelo (Fig. 6). El modelo matemático que describe el comportamiento de la ET (en mm) fue exponencial decreciente de la forma $ET = ae(-b \cdot X)$ ($r^2 > 0,61$), cuando se relacionó la ET con el tiempo de secado (Fig. 6). La tasa de pérdida de humedad (b en el modelo) para el suelo franco arcillo limoso varió entre 0,04 y 0,16 ($r^2 > 0,60$), y para el suelo arenoso franco, entre 0,06 y 0,09 ($r^2 > 0,79$).

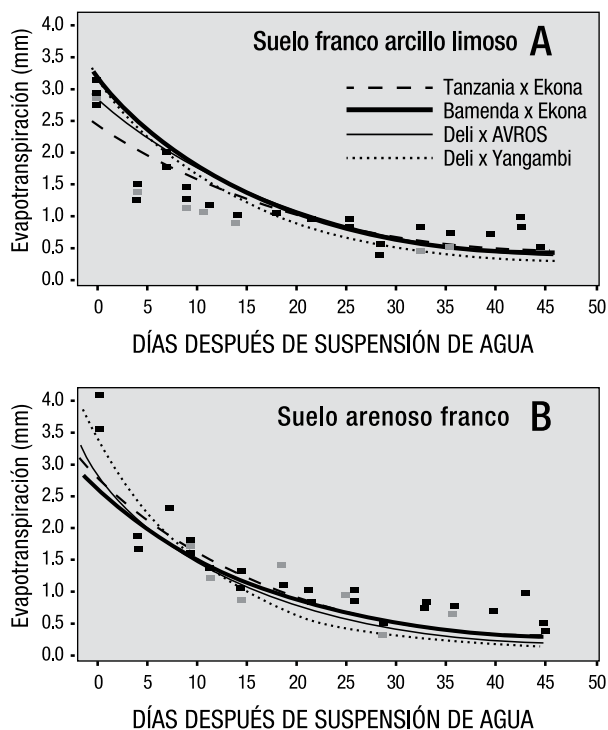


Fig. 6. Evapotranspiración (días después del último riego) en plantas de cuatro variedades de palma aceitera (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS, Deli x Yangambi). Suelo franco arcillo limoso (A) y suelo arenoso franco (B). Tumaco, Colombia.

Los valores de ET (entre 4,0 y 0,22 mm/día) para las cuatro variedades están dentro del ámbito obtenido para palma aceitera joven en otras regiones tropicales del mundo (Foong 1999; Kallarackal et al. 2004; Yusop et al. 2008). Se puede interpretar que en condiciones de campo y durante periodos de alta precipitación pluvial, la ET puede contribuir a disminuir excesos de humedad en los dos suelos, y por consiguiente contribuir a evitar que las palmas sufran estrés por exceso hídrico. No obstante, si la lluvia es escasa o nula durante un periodo superior a dos semanas, se podría presentar estrés por déficit hídrico.

En la región palmera de Tumaco, la precipitación pluvial anual es de alrededor de 3.000 mm con una buena distribución y supera considerablemente la evapotranspiración potencial (1.030 mm/año). Sin embargo, los eventos extremos de oferta de lluvia son cada vez más comunes en la región asociados a los ciclos ENOS (fenómenos El Niño y La Niña) (IDEAM 2008). Un estudio sobre los eventos climáticos extremos en la región asociados con fenómenos del Niño y de la Niña ocurridos entre 1961 y 2002, demostró el efecto depresivo de esas condiciones climáticas extremas sobre el crecimiento vegetativo y el desarrollo reproductivo de la palma aceitera dentro de los tres años siguientes a su ocurrencia (Cadena et al. 2004).

Lo anterior indica que es erróneo considerar que el déficit y el exceso hídrico (acompañado de baja radiación fotosintéticamente activa) son despreciables todos los años, según es la creencia popular en la región; por lo cual no se toman precauciones para mitigar los efectos negativos de tales eventos extremos, particularmente la pobre aeración de los suelos y periodos de altas temperaturas y baja lluvia. La alta incidencia de pudriciones del cogollo (de etiología compleja) en la palma aceitera en la región, puede estar relacionada con estos cambios impredecibles en el clima, que ocurren cada vez con mayor frecuencia (Albertazzi et al. 2005 y 2009, Boari 2008; Chinchilla 2010, Venturieri et al. 2009).

Potencial hídrico de la hoja (Ψ_h)

El valor de Ψ_h disminuyó con el tiempo de secado en los dos suelos (Fig. 7) y los valores medidos se encuentran dentro del ámbito encontrado para palma aceitera (Kallarackal et al. 2004). Se observaron diferencias significativas entre suelos y entre genotipos a los 35 días de secado, y los valores mayores correspondieron al suelo FAL (-0,42 MPa). La variedad Bam. x Eko. presentó el mayor valor (-0,52 MPa) y D x A fue la más afectada por la pérdida de humedad del suelo (-0,74 MPa) (Cuadro3).

Durante el secado del suelo, el comportamiento de Ψ_h en las cuatro variedades varió en función del ψ_s (a 20

cm de profundidad), y se ajustó a un modelo matemático del tipo exponencial decreciente $\psi_h = ae^{-(b \times t)}$ ($r^2 > 0,50$), donde b corresponde a la tasa de disminución del ψ_h , respecto al cambio en el ψ_s (Fig. 8). Tanz. x Eko. y Bam. x Eko. presentaron las menores tasas en el suelo FAL, al igual que Tanz. x Eko. en el suelo AF. Se puede concluir entonces, que estas variedades poseen mayor tolerancia al déficit hídrico. Por otro lado, las variedades D x A y D x Yang. presentaron las mayores tasas de disminución del ψ_h en ambos suelos, lo que es un indicativo de menor tolerancia al déficit hídrico. Particularmente, D x Yan. parece necesitar un suministro estable de agua desde el suelo para obtener mejor crecimiento, lo cual concuerda con las observaciones de campo sobre el comportamiento de esta variedad (Alvarado y Sterling 2005).

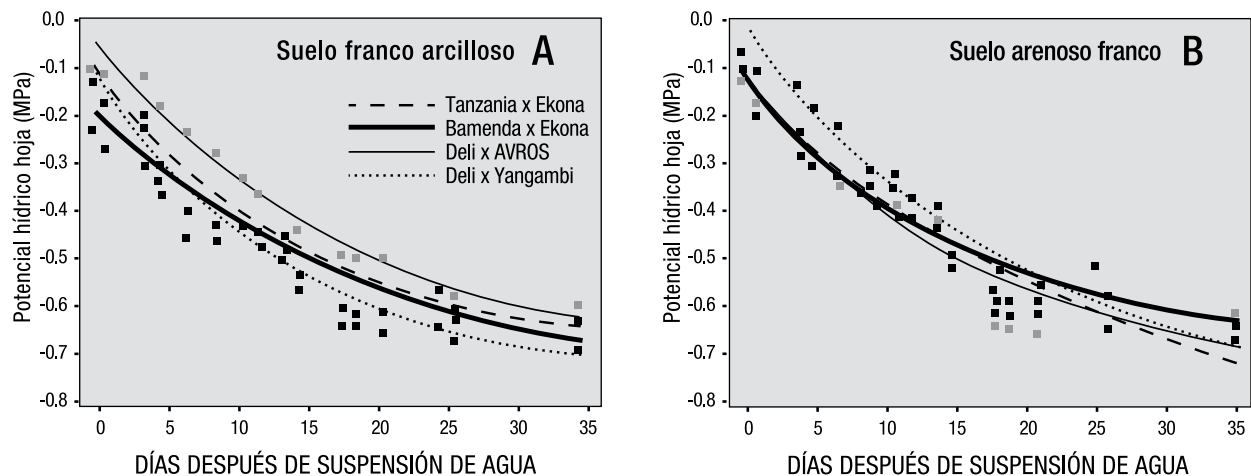


Fig. 7. Relación entre el potencial hídrico de la hoja y el tiempo transcurrido desde el último riego, en plantas de cuatro variedades de palma aceitera (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS, Deli x Yangambi), Suelo franco arcilloso (A) y suelo arenoso franco (B), Tumaco, Colombia.

Cuadro 3. potencial hídrico de la hoja cuatro en la filotaxia de palmas aceiteras en vivero a los 35 días de secado del suelo por evapotranspiración, Tumaco, Colombia			
Suelo	Mpa	Variedades	Mpa
Franco arcillo limoso (FAL)	- 0,42 a	Tanzania x Ekona	-0.65 a
		Bamenda x Ekona	-0.52 b
Arenoso franc (AF)	- 0.87 b	Deli x AVROS	0.74 a
		Deli x Yangambi	0.66 a
Medias con la misma letra en las columnas no difieren entre si (Duncan: P>0.05)			

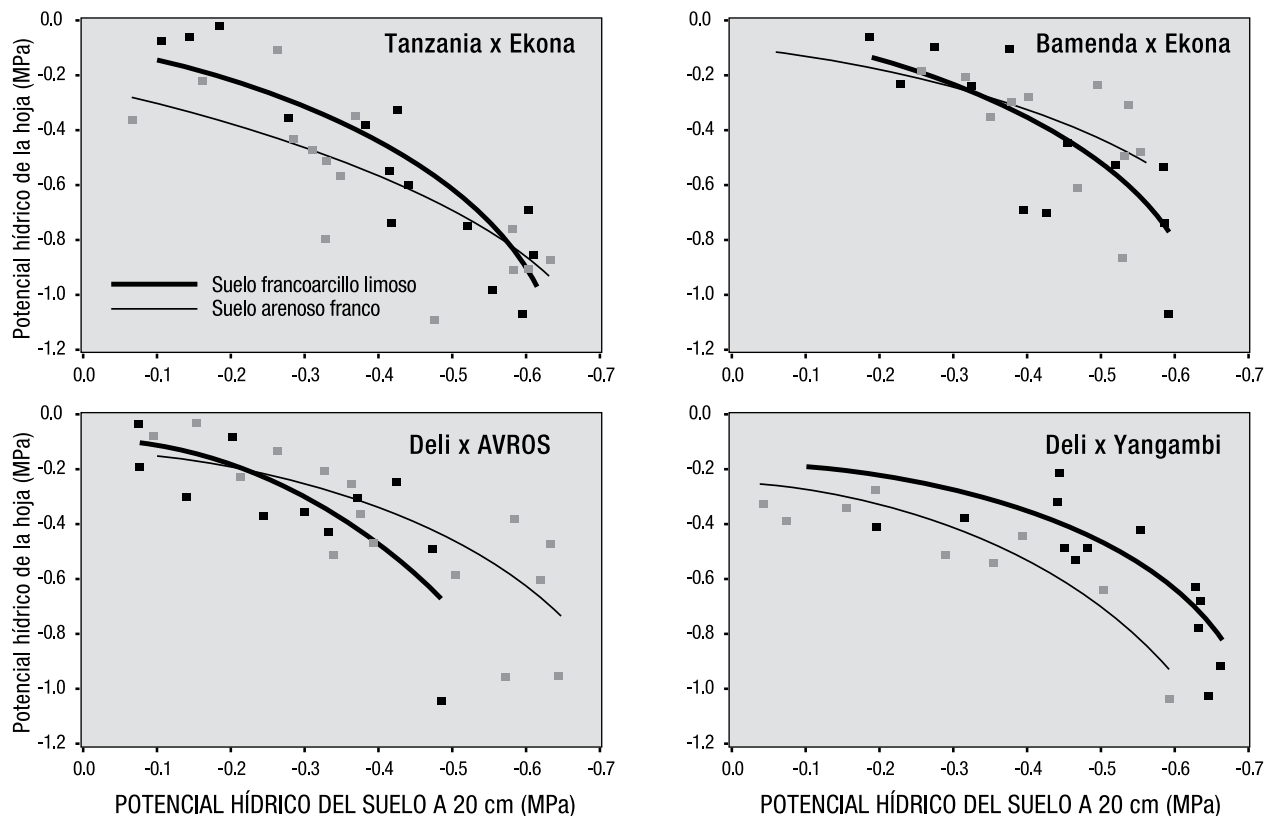


Fig. 8. Relación entre el potencial hídrico del suelo a 20 cm de profundidad y de la hoja, en plantas de cuatro variedades de palma aceitera (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS, Deli x Yangambi) sembradas en materos en dos tipos de suelo: franco arcillo limoso y arenoso franco, Tumaco, Colombia.

Fotosíntesis neta (F_n)

El curso diario de la actividad fotosintética presentó un comportamiento bimodal; el primer pico presentó valores máximos entre las 09:00 y 11:00 horas, y el segundo entre las 14:00 y 16:00 horas (Fig. 9). La disminución de F_n en las horas del medio día es debida al cierre estomático (para mantener la presión de

turgencia) y a la saturación del aparato fotosintético. Este comportamiento ocurre en muchas especies de plantas en condiciones de alta radiación y alta temperatura foliar, acompañados de aumentos en el déficit de presión de vapor en el aire, sumado a incrementos en la evaporación rápida en los primeros centímetros de profundidad en el suelo (Losch and Schulze 1995; Villalobos et al. 2001).

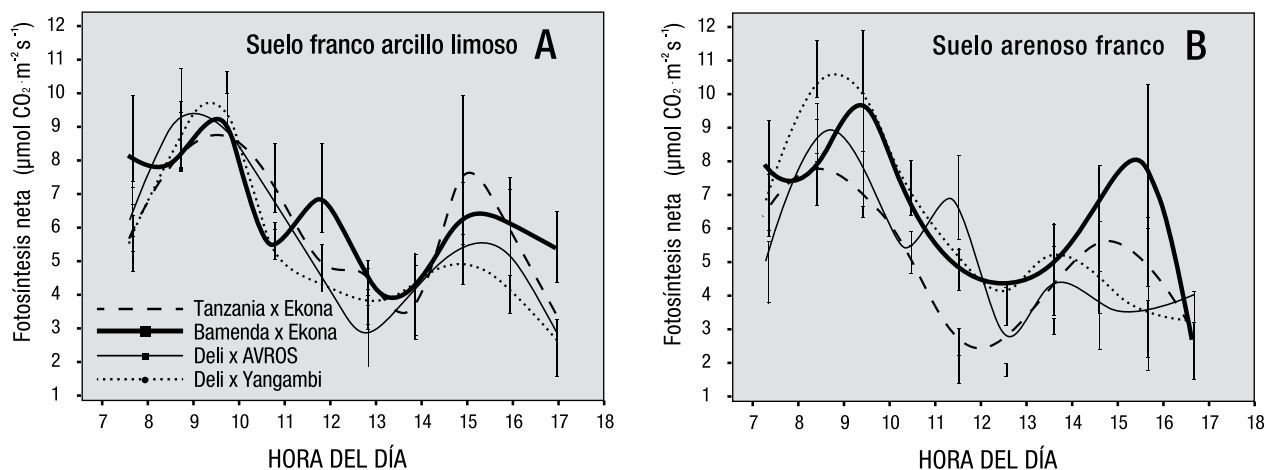


Fig. 9. Curso diario de la fotosíntesis neta durante el día siete de medición en plantas de cuatro variedades de palma aceitera (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS, Deli x Yangambi), sembradas en: suelo franco arcillo limoso (A) y suelo arenoso franco (B), Tumaco, Colombia.

Se encontraron diferencias significativas entre variedades y suelos para la F_n diaria. El valor mayor de F_n se observó en Bam.x Eko. ($5,91 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) y el menor en D x A ($5,27 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (Fig. 9, Cuadro 4). El efecto del suelo se manifestó en mayores valores en el suelo AF ($5,70 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$), lo cual es esperable debido a su mejor condición de aeración para el sistema radical (Corley y Tinker 2003). El comportamiento de la F_n entre variedades fue similar al comportamiento observado para el potencial hídrico de la hoja (Cuadros 3 y 4).

La F_n (entre 10:00 y 11:00 horas) disminuyó a través del tiempo de secado del suelo (Fig. 10). Aun cuando existieron amplias variaciones en la oferta microclimática, existió un efecto claro de la disminución de la humedad en el suelo asociada con la disminución de la F_n .

Cuadro 4. Fotosíntesis neta (F_n) en la hoja cuatro en la filotaxia de palma aceitera en vivero según tipo de suelo y genotipo. Tumaco, Colombia			
Suelos		Genotipos	
Tipos de suelo	Net photosynthesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Variedades	Fotosíntesis neta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
Franco arcillo limoso (FAL)	5.36 a	Tanzania x Ekona	5.48 ab
		Bamenda x Ekona	5.91 a
Arenoso franco (AF)	5.70 b	Deli x AVRROS	5.27 b
		Deli x Yangambi	5.45 ab

Medias seguidas de la misma letra en las columnas no difieren entre sí (Duncan, $P > 0,05$).

La F_n presentó predominancia de valores bajos durante el día y a través del tiempo ($3-8 \mu\text{molCO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$), cuando se compara con lo encontrado normalmente en palmas jóvenes ($7,9- 9,50 \mu\text{molCO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (Noor et al. 2005, Noor y Harun 2007). Este comportamiento se asoció con baja disponibilidad de oferta energética (valores comunes de RFA menores a $400 \mu\text{mol fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$) y alto déficit de presión de vapor del agua en el aire (predominancia de valores de DPV mayores a 1,7 Kpa).

En palma aceitera de diferentes edades, la F_n máxima presenta valores de saturación de luz entre 400 y $1.150 \mu\text{mol fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Henson 1993, Corley y Tinker 2003, Hanif, 2006). Por otra parte, valores de DPV mayores a 1,7 KPa superan el ámbito adecuado para la actividad fotosintética de la palma aceitera

(0,5 a 1,7 KPa) (Dufrene y Saugier 1993, Henson et al. 2005). No obstante lo anterior, se observaron diferencias significativas entre las palmas sembradas en los dos suelos y entre variedades (Cuadro 4). Esto indica que en palma aceitera existe un potencial para la fijación de dióxido de carbono; el cual puede ser explotado en la medida que se logre determinar la existencia de buena relación funcional entre la F_n y los asimilados dirigidos a la formación de racimos, y que la biomasa de los racimos represente una porción importante en la biomasa total producida por la palma.

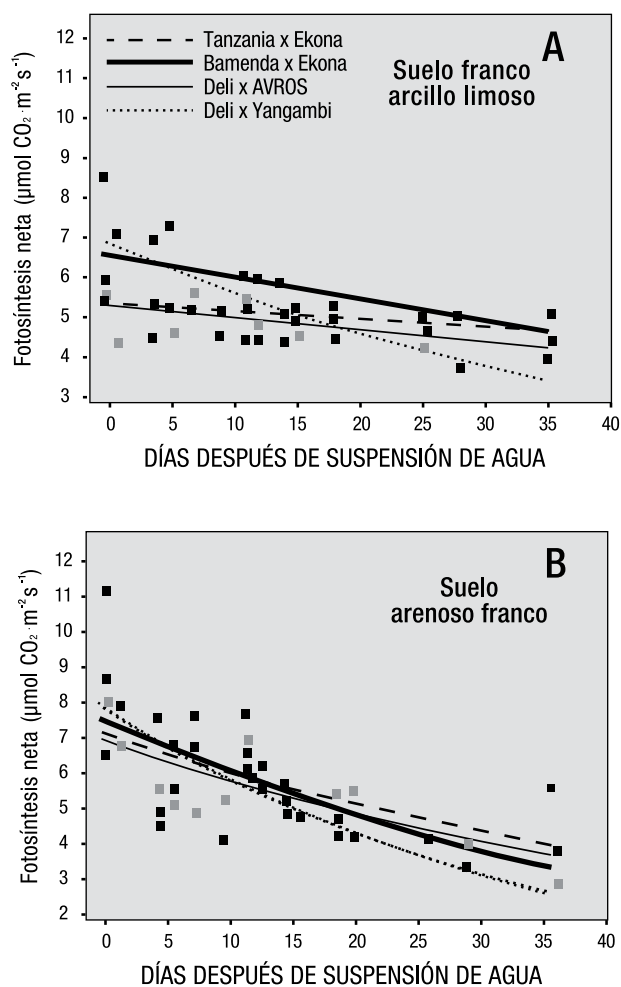


Fig. 10. Fotosíntesis neta (10:00 a 11:00 horas), en plantas de cuatro variedades de palma aceitera, sembradas en dos suelos (A: franco arcillo limoso y B: arenoso franco), en función del tiempo transcurrido luego del último riego. Variedades: Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVRROS y Deli x Yangambi. Tumaco, Colombia.

Relaciones entre la fotosíntesis neta, el potencial hídrico del suelo y el déficit de presión de vapor de agua en el aire

La F_n (entre 10:00 y 11:00 horas) disminuyó en los dos suelos y para las cuatro variedades con el decrecimiento del ψ_s a 20 cm de profundidad (Figs. 11 y 12); lo que indica la importancia de una humedad superficial del suelo cercana a capacidad de campo para mantener una adecuada actividad fotosintética en la palma aceitera, tal y como ha sido también observado en otros estudios, tanto en palma aceitera como en cocotero (Cornaire et al. 1993, Gomes and Prado 2007).

La respuesta de la F_n en las cuatro variedades de palma también fue diferente conforme disminuía el potencial hídrico del suelo: Bamenda x Ekona y Tanzania x Ekona > Deli x Yangambi > Deli x AVROS (Figs. 11 y 12).

La F_n disminuyó con el incremento del DPV. El efecto fue similar en los dos suelos y para las cuatro variedades (Fig. 13), y concuerda con lo observado en otros estudios en palma aceitera, en los cuales se determinó la existencia de relación lineal negativa entre DPV y F_n máxima (Setyo et al. 1996; Henson and Haniff 2005).

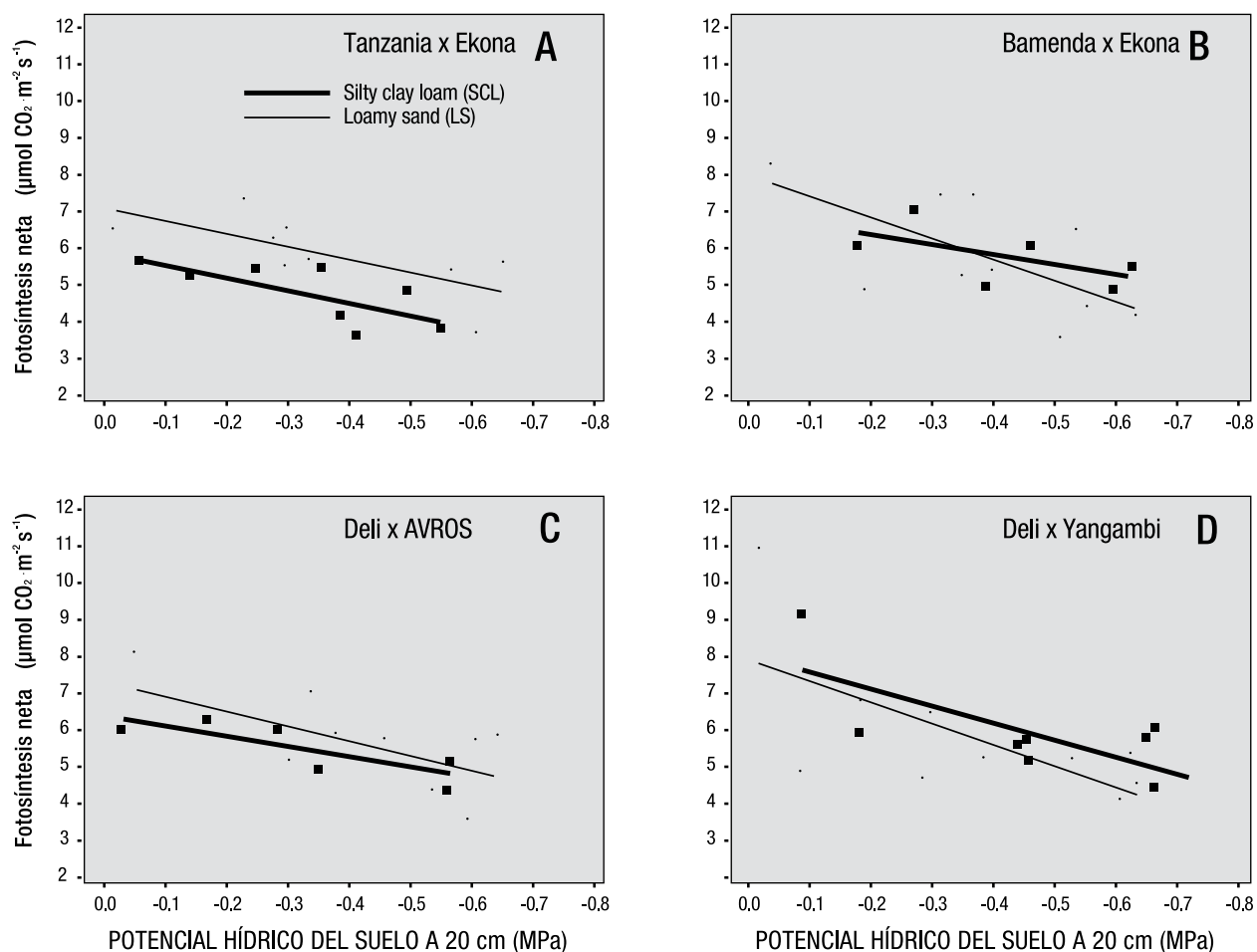


Fig. 11. Relación entre el potencial hídrico del suelo y la fotosíntesis neta entre las 10:00 y 11:00 horas, durante 70 días de secamiento del suelo, para plantas de cuatro variedades de palma aceitera (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS y Deli x Yangambi), en dos tipos de suelo: franco arcillo limoso y arenoso franco, Tumaco, Colombia.

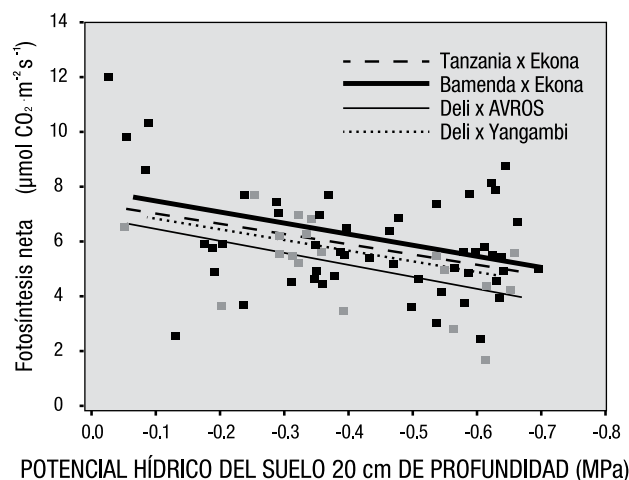


Fig. 12. Relación entre el potencial hídrico del suelo y la fotosíntesis neta entre las 10:00 y 11:00 horas, durante 70 días de secamiento del suelo, para plantas de cuatro variedades de palma aceitera (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS y Deli x Yangambi), sembradas en dos tipos de suelo: franco arcillo limoso y arenoso franco. Tumaco, Colombia

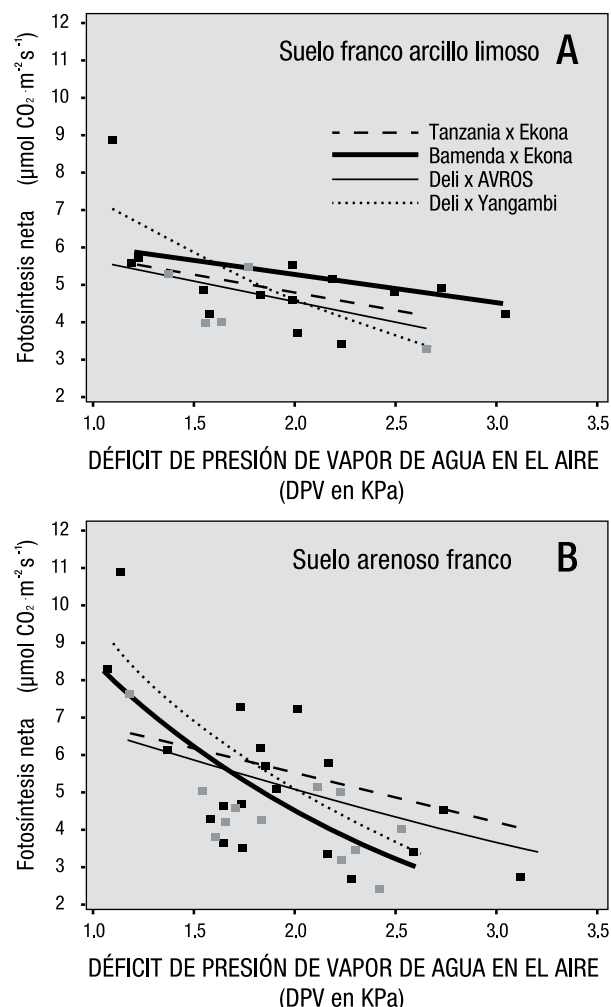


Fig. 13. Relación entre el déficit de presión de vapor de agua en el aire (DPV) y la fotosíntesis neta, en plantas de cuatro variedades de palma aceitera (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS, Deli x Yangambi), sembradas en dos tipos de suelo: franco arcillo limoso (A) y arenoso franco (B). Tumaco, Colombia

Comportamiento diario y en el tiempo de la transpiración (T)

El comportamiento diario (8:00 a 17:00 horas) de la actividad transpiratoria de las palmas fue similar en los dos suelos mientras estos tuvieron agua rápidamente aprovechable por las plantas (ψ_s entre -0,03 y -0,30 MPa). El valor de la T (entre 0,80 y 3,40 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) se incrementó entre las 8:00 am y el medio día y luego decreció, similarmente a lo observado en otros estudios en esta especie (Foong 1999, Suresh y Nagamani 2006).

Se encontraron diferencias ($P < 0,05$) para T entre variedades sólo en el suelo AF. El mayor valor de T se observó en Deli x Yangambi (2,45 mmol H₂O m⁻² s⁻¹), y el menor en Bamenda x Ekona (2,19 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) (Cuadro 5). Se conoce que la disminución de la tasa de transpiración en palma aceitera y otras especies está relacionada con un valor bajo de la conductancia estomática (g_s), por ser una estrategia de control de la pérdida de agua en la hoja mediante la regulación de la apertura del poro estomático (Kallarackal et al. 2004, Haniff et al. 2005). Por consiguiente, el comportamiento de g_s en las cuatro variedades fue similar al de T : menor g_s en Bamenda x Ekona respecto a Deli x Yangambi en el suelo AF, lo que indica que Bamenda x Ekona posee mejor control estomático a la difusión de gases y por consiguiente posibilidad de mejor manejo de su economía hídrica en condiciones deficitarias de agua. Resta por determinar la disposición de los estomas en el limbo foliar para cada una de las variedades, pues en otras especies cultivadas en el trópico se ha encontrado que el carácter de ser hipoestomáticas ó epiestomáticas ó anfiestomáticas, está relacionado con la economía hídrica. En general para la palma aceitera en varias observaciones se ha encontrado que es del tipo hipoestomática (estomas en el envés de la hoja).

Cuadro 5. Valores de transpiración (T) determinada en la hoja cuatro (en mmol H₂O m⁻² s⁻¹) de cuatro variedades de palma aceitera en vivero, durante tres días consecutivos en suelos con potencial hídrico entre -0.03 and -0.30 MPa. Tumaco, Colombia

Genotipo	Suelo franco arcillo limoso (FAL)	Suelo arenoso franco (AF)
Tanzania x Ekona	2.29 ab	2.28 a
Bamenda x Ekona	2.19 a	2.36 a
Deli x AVROS	2.33 ab	2.35 a
Deli x Yangambi	2.45 b	2.40 a

Medias con la misma letra en las columnas no difieren entre sí (Duncan: $P > 0.05$)

El valor de T (entre 10:00 y 11:00 horas) disminuyó en las cuatro variedades y en ambos suelos conforme el suelo se secaba, lo cual también fue observado para la fotosíntesis neta. La variedad Deli x Yangambi mostró los mayores valores de T en los dos suelos, particularmente en el suelo franco arcillo limoso, concordando con lo observado para la transpiración diaria.

Eficiencia del uso del agua ($EUA = Fn/T$)

Durante el secado del suelo la EUA (entre 10:00 y 11:00 horas) fue estadísticamente diferente entre variedades. El valor más alto se observó en Bam. x Eko. ($3,9 \mu\text{mol CO}_2 / \text{mmolH}_2\text{O}$) y el menor en Deli x AVROS ($3,4 \mu\text{molCO}_2 / \text{mmolH}_2\text{O}$) (Cuadro 6). Estos valores de EUA están dentro del ámbito normal para palmas de vivero (Noor et al. 2005; Noor y Harun, 2007).

Los cambios en la magnitud de EUA fueron similares a los de la Fn : los valores más altos se obtuvieron en

Bam. x Eko.; la que también mostró la menor T y el mayor valor de Ψ_n en el suelo franco arcillo limoso, lo que indica que esta variedad tiene un mejor control de la hidratación foliar durante las primeras horas de la mañana (Cuadros 3 y 5). Las diferencias observadas en la EUA entre variedades de palma aceitera, indican posibles diferencias en restricciones estomáticas o no estomáticas en la absorción de CO_2 . El comportamiento de la EUA está relacionado con el de la conductancia estomática (g) y con el estrés hídrico, por lo cual puede usarse como indicador de tolerancia a este tipo de estrés (Noor et al. 2005; Noor y Harun, 2007).

Cuadro 6. Eficiencia en uso del agua (EUA) determinada en la hoja cuatro entre las 10:00 y 11:00 horas, de cuatro variedades de palma aceitera en vivero, durante 35 días de secado del suelo por evopotranspiración. Tumaco, Colombia

Genotipo	EUA ($\mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$)
Tanzania x Ekona	3,6 ab
Bamenda x Ekona	3,9 b
Deli x AVROS	3,4 a
Deli x Yangambi	3,5 ab
Medias con la misma letra en las columnas no difieren entre sí (Duncan: $P > 0.05$)	

Conclusiones

La tecnología psicrométrica para cuantificar el potencial hídrico del suelo y del tejido foliar en palma aceitera es adecuada en condiciones de bosque tropical húmedo. Es posible estimar la respuesta de las palmas de vivero al déficit hídrico con los valores de potencial hídrico de la hoja, transpiración y fotosíntesis neta.

Periodos de alta precipitación pluvial causan anegamiento en suelos con alta capacidad de retención de humedad. Contrariamente, la planta sufre más durante periodos de escasa precipitación en suelos con poca capacidad de retención de humedad. Estos periodos de estrés se intensifican durante los fenómenos de La Niña y el Niño y pueden estar relacionados con un incremento de la incidencia de pudriciones del cogollo en la palma aceitera en la región de estudio.

La transpiración (T), el potencial hídrico de la hoja (Ψ_n) y la fotosíntesis neta (Fn) son las variables que presentaron más sensibilidad discriminante para diferenciar el comportamiento de las variedades de palma aceitera en función de la disponibilidad de agua

en el suelo. Por consiguiente, con la medición de solo estas variables es posible separar genotipos según su respuesta a la disponibilidad de agua; lo cual concuerda con otros estudios en palma aceitera (Martínez et al. 1999; Brito et al. 2006).

Los valores de ET , Ψ_n , Fn , T y EUA observados fueron similares a los determinados en otras regiones tropicales (Malasia, Indonesia, India, Nigeria y Costa Rica). No obstante, el valor máximo de Fn determinado fue inferior a lo observado en palmas de edad similar en Malasia e Indonesia. Por otro lado, se comprobó la concordancia en la disminución de la Fn ocasionada por el incremento del DPV (Costa de Marfil, Malasia y Sumatra).

La respuesta fisiológica de palmas jóvenes de las cuatro variedades evaluadas con respecto a la disminución progresiva del agua en el suelo, fue diferencial y consistente para las variables potencial hídrico de la hoja (Ψ_n), fotosíntesis neta (Fn), transpiración (T) y eficiencia del uso del agua (EUA), lo cual soporta las observaciones sobre el comportamiento diferencial

observado en el campo en palmas adultas de las mismas variedades con relación a la tolerancia al déficit hídrico: Bamenda x Ekona y Tanzania x Ekona mayor tolerancia, Deli x Yangambi tolerancia intermedia, y Deli x AVROS menor tolerancia (Alvarado y Sterling 2005, Chinchilla et al. 2007). Estos resultados permiten estudiar, en palmas jóvenes, los mecanismos fisiológicos y genéticos de respuesta a la disponibilidad de agua en el suelo y su transmisión, y también evaluar de manera temprana el

comportamiento de nuevas progenies en los programas de mejoramiento genético.

El conocimiento de la respuesta de variedades de palma aceitera al estrés por extremos en la disponibilidad de agua, es también importante para tener una idea de la respuesta de estos genotipos al estrés en general y a desórdenes como las pudriciones del cogollo, pues existe evidencia sobre la relación entre estas características.

Agradecimientos

A las entidades y empresas de Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, CORPOICA, Inversiones Rankin Bolívar y Cordeagropaz; miembros de la alianza que financió la investigación. A CENICAFÉ, por su apoyo durante la ejecución de la investigación. A la empresa ASD de Costa Rica, por su apoyo con materiales genéticos e información técnica empleada en la investigación.

Literatura

- Acosta A., Munévar F. 2003. Bud rot in oil palm plantations: Link to soil physical properties and nutrient status. Colombia. Better Crops International 12(2): 22-25.
- 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.
- 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. 2008. Estudios realizados sobre o amarelecimento fatal do dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) no Brasil. Embrapa, serie documentos. Belém Paraná, Brasil. 57 p.
- 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.
- Cano R. 2000. Respuesta fotosintética y transpiratoria del caféto (*Coffea arabica*) a la humedad del aire y del suelo. Tesis Ing. Agron. Univ. Nac., Palmira, Colombia. 80 p.
- Chinchilla C., Alvarado A., Albertazzi H., Torres R. 2007. Tolerancia a las pudriciones del cogollo en fuentes de diferente origen de *Elaeis guineensis*. Palmas, 28(1): 273-284.
- 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.
- Cornaire B., Daniel C., Zuily-Fodil Y., Lamade E. 1993. Oil palm performance under water stress. Background to the problem, first results and research approaches. Proc. 1993. PORIM International Palm Oil Congress, Malaysia. p. 159-172.
- Corley R., Tinker P. 2003. The oil palm. Oxford Blackwell Science, Blackwell Publishing Company. 562 p.
- 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 2011. Bol. Econ. Balance del sector palmero colombiano en 2010. Bogotá. 6 p.
- Fedepalma 2010. Anuario estadístico 2010. La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y el mundo 2005-09. Bogotá. 158 p.
- Foong S. 1999. Impact of moisture on potential evapotranspiration, growth and yield of oil palm. In: Darus A., Chan K., Sharifah S. (eds.). Proc. 1999 PORIM Intern. Palm Oil Congress. Malaysia. p. 64-86.
- Gliessman S. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. CATIE. Turrialba, CR. 359 p.
- Gomes F., Prado C. 2007. Ecophysiology of coconut palm under water stress. Braz. J. Plant Physiol, 19(4): 377-391.
- Gómez O. 2000. Efectos del estrés hídrico sobre la actividad fotosintética de café cv. Colombia. Tesis Ing. Agron.. Univ. Nac. Palmira, Colombia. 67 p.

- Haniff, M.H.; Ismail, S.; Idris, A.S. 2005. Gas exchange responses of oil palm to *Ganoderma boninense* infection. *Asian Journal of Plant Sciences*, 4(4): 438-444.
- Hanif M. 2006. Gas exchange of excised oil palm (*Elaeis guineensis*) fronds. *Asian J. of Plant Sciences*, 5(1): 9-13.
- Henson I. 1993. Carbon assimilation, water use and energy balance of oil palm plantation assessed using micrometeorological techniques. Proc. of the 1993 PORIM, Intern. Palm Oil Congress, Agric. Pp. 137-158
- Henson I., Haniff H. 2005. The influence of climatic conditions on gas and energy exchanges above a young oil palm stand in North Kedah, Malaysia. *J. of Oil Palm Research*, 17:73-91.
- Henson I., Noor M., Haniff M., Yahya Z., Mustakim S. 2005. Stress development and its detection in young oil palms in North Kedah, Malaysia. *J. of Oil Palm Research*, 17: 11-26.
- Henríquez H., Cabalceta A. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. Univ. Costa Rica. 112 p.
- IDEAM 2008. Vulnerabilidad. Cap.4. En: IDEAM. El ABC del cambio climático en Colombia. Bogotá. 320 p.
- IDEAM. 2009. Estación Granja El Mira, Tumaco, Colombia. 10 p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Nariño. Bogotá. 1017 p.
- Kallarackal J., Jeyakumar P., Jacob G. 2004. Water use of irrigated oil palm at three different arid locations in peninsular India. *J. Oil Palm Res.* 16(1): 45-53.
- Losch R., Schulze E. 1995. Responses of photosynthesis to environmental factors. In: Schulze E., Caldwell M. (eds.). *Ecophysiology of photosynthesis*. Springer-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., Harun M. 2007. Technique for determining water use efficiency (WUE) in oil palm. MPOB Information Series 368. Internet 19/9/09.
- Noor M., Ismail M., Harun M., Mahmood M. 2005. Leaf study and gas exchange of commercial DxP and PS.1 oil palm seedlings. Proc. of Agric., Biotec. and Sustainability Conf. PIPOC 2005. MPOB Intern. Palm Oil Congress. Malaysia. p. 833-837.
- Ojeda G., Perfect E., Alcaniz J., Ortiz O. 2007. Fractal analysis of soil water hysteresis as influenced by sewage sludge application. *Geoderma*, 134: 386-401.
- Peters A., Durner W. 2008. Simplified evaporation method for determining soil hydraulic properties. *Journal of Hydrology*, 356: 147-162.
- Rucks L., García F., Kaplan A., Ponce de León J., Hill M. 2004. Propiedades físicas del suelo. Fac. Agron. Univ. República, Dpto. Suelos y Aguas. Montevideo, Uruguay. 68 p.
- Rundel P., Jarrell W. 1989. Water in the environment. In: Pearcy R., Ehleringer J., Mooney H., Rundel P. *Plant Physiological Ecology*. Chapman and Hall. London. pp. 29- 56.
- Setyio I., Subronto M., Lamade E. 1996. Photosynthetic rate of the three different DxP clones: the sensitive to vapor pressure deficit in North Sumatra. Proc. Agric. Conf. PIPOC 2005. PORIM Intern. Palm Oil Congress. Malaysia. p. 421-426.
- 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.
- Teixeira W., Cubas O., Martins C., De Freitas P., Lobato R., Ramalho F. 2010. Características físicas do solo adequadas para implantacao e manutencao da cultura de palma de óleo na amazonia. En: De Freitas P., Teixeira W. *Zoneamento agroecológico, producao e manejo para a cultura da palma de óleo na amazonia*. Parte II. Embrapa solos, Rio de Janeiro, Brasil. 137-144 p.
- Villalobos E., Marin W. Berninger F. 2001. Transporte y partición de carbón. En: Villalobos E. *Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Procesos fisiológicos básicos*. Fascículo I. San José, Editorial Universidad de Costa Rica. p. 84-117.
- Venturieri A., Fernandes W., Boari A., Vasconcelos M. 2009. Relacao entre ocorrencia do amarelecimento fatal do dendezeiro e variaveis ambientais no estado do Pará. *Embrapa Amazonia Oriental. Instituto Chico Mendes de Conservacao da Biodiversidade, Brasil. Anais XIV Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil. INpe*, p. 2523-530.
- Wescor. 2006. PST-55(-SF) and PCT-55(-SF) soil hygrometer / psychrometer. Document number: Man / PST-55 and PCT-55. Wescor environmental products division. Logan, UT, USA. 3P. www.wescor.com 30/1/2006.
- 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 30/1/2006.
- Yusop Z., Hui C., Garusu G., Katimon A. 2008. Estimation of evapotranspiration in oil palm catchments by short-time period water-budget method. *Malaysian J. of Civil Engineering*, 20(1): 160-174.

Response to irrigation (growth and production) of three varieties of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in the zone of La Concordia, Ecuador

Martínez Osvaldo, Hidalgo Diego, Lema Víctor, Reinoso Viviana, Camacho Oscar, Reyes Santiago, Morales Rocio, Calvache Marcelo, Bernal Gustavo¹, Vega Cristian²

Abstract

The response to watering was studied for seven years in three tenera oil palm hybrids: INIAP (local variety), Deli x La Mé 2501 (CIRAD) and Deli x Ghana (ASD Costa Rica). The field testing was done at the Oil Palm Research Center (CIPAL, ANCUPA) in La Concordia, Santo Domingo de los Tsáchilas, at 260 masl. Spray watering was used and the amount of water input was obtained from daily readings of the MC lysimeter. A divided plot design with three repetitions was used, with the watering factor in the large plots and the varieties in the sub-plots. During the entire period, data were obtained on vegetative growth of the palms and bunch production. A financial analysis of the project was conducted at experiment end.

Leaf emission rate was the variable most sensitive to water stress, and in several years it was statistically better in the plots with watering; but differences were also found between varieties in their tolerance of water deficit. During the 2007 dry season, the palms that received watering emitted 2.21 ± 0.19 vs. 1.79 ± 0.29 leaves/month in the parcels without watering. Fruit yield was higher (21.23%) in plots that received watering. The Deli x Ghana variety performed best in terms of fresh fruit bunch production, in the parcels with watering as well as those without watering; therefore the best benefit/cost ratio margin (2.70) corresponded to this material. The best incremental benefit/cost ratio (3.54) also corresponded to this variety.

Introduction

In 2005, the area planted in oil palm in Ecuador exceeded 207,000 hectares (National Census, ANCUPA 2005). Given that 87% of the producers are considered small (with 50 ha or less), it appears that the crop fills a predominantly social function. Nevertheless, in some regions such as the Western Block (Santo Domingo, La Concordia, Quinindé and Quevedo), productivity is quite low (14 t of fruit/year or less) (Burgos 2011). One of the causes of low productivity is the water deficit that occurs in the second half of the year. The beneficial effect of watering has been documented in oil palm, but in Ecuador there is little information regarding this practice,

and there is no clear criterion regarding the appropriate management of the water resource in this crop.

ANCUPA in collaboration with the Faculty of Agricultural Sciences of the Central University of Ecuador, conducted a seven year long study (2005-2011), with the participation of seven students, who each used the information they collected during one year, as the basis for a thesis in agricultural engineering. The purpose of the study was to evaluate the influence of watering on vegetative growth and production of three intra-specific tenera hybrids of *Elaeis guineensis*: INIAP (local variety), Deli x La Mé 2501 (CIRAD) and Deli x Ghana (ASD).

Key words: oil palm, irrigation

¹ Director of Research, ANCUPA, e-mail: gbernal@ancupa.com;

² Assistant investigator, ANCUPA, e-mail: cvega@ancupa.com, Others: Central University of Ecuador-UCE and Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera [National Association of Oil Palm Growers], ANCUPA

Materials and Methods

The field work was done at the Oil Palm Research Center (CIPAL) belonging to the National Association of Oil Palm Growers (ANCUPA), located on the Santo Domingo-Quinindé roadway, La Concordia, Santo Domingo de los Tsáchilas. The experimental site is at 260 masl, 0°02'29" (south latitude), 79°24'54" (west longitude). Mean annual temperature is 24.2 °C, with 626 hours light per year, 86% relative humidity and 7/8 cloudiness. Annual precipitation is 2881.2 mm, but poorly distributed (Fig. 1).

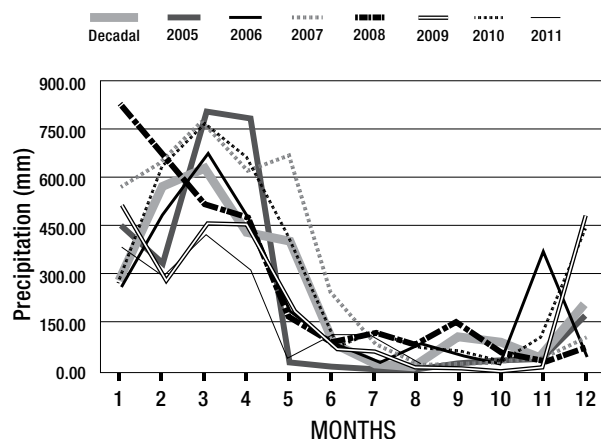


Fig 1. History of precipitation at the Oil Palm Research Center (CIPAL).

The countryside is slightly undulating and the soils are Inceptisols of volcanic origin and well drained, with an organic material content of 5 to 6%, pH 4.6, and electrical conductivity of 0.4-0.45 mmhos/cm, which is considered low. The details of the treatments appear in Table 1.

N°	Description
1	Without watering; INIAP
2	Without watering; Deli x La Mé 2501
3	Without watering; Deli x Ghana
4	With watering; INIAP
5	With watering; Deli x La Mé 2501
6	With watering; Deli x Ghana

A divided plot arrangement with three repetitions was used, with watering in the large parcel and the varieties in

the small ones, for a total of 18 plots of 30 plants each and one experimental unit with eight palms. The experiment would cover an area of 37,752.49 m² (194.3m x 194.3 m), with large parcels of 6,289.92 m² (70.2 m x 89.6 m) and small parcels of 2,096.64 m² (23.4 m x 89.6 m). The watering was done by spraying, with 47 sprinkler nozzles per hectare, at a distance of 13.5 m between nozzles and 15.6 m between lines of nozzles. The flow applied by each nozzle was 3.05 mm/hour, at a pressure of 40 psi. The area covered by each nozzle was 10 meters with an overlap of four meters.

One MC lysimeter and five tensiometers (three in the watered area and two in the area without watering) were placed in the experimental area, whose daily readings were used to determine the watering schedules during the dry season. To calculate the amount of water input, the recommendations described by Calvache (1993) were followed, and a crop coefficient (Kc) from 0.75 to 1.25 was used, according to the age of the palm (Calvache 2002).

Palms were planted in December 2004. Every six months, data were taken on the height and diameter of the trunk, leaf emission rate (expressed as leaves/month), leaf area, diameter of crown and sex ratio. Bunch production was recorded every two weeks (determining the number of bunches and their average weight).

To evaluate the uniformity of the watering system, the methodology described by Cristhiansen and cited by Calvache (1997) was used, and to determine operational costs, the incremental 'benefit cost' or 'residual analysis' was calculated, which only contemplated the earnings obtained from implementing a new technology (Sánchez 2011). The tasks of fertilization, phytosanitary controls and other crop management practices were done following the normal technical recommendations for the crop CIPAL.

Results and Discussion

Vegetative growth

The diameter of the base of the trunk varied more as a function of variety (Deli x Ghana: 91.60 ± 5.33 cm, Deli x La Mé 2501: 89.73 ± 6.02 cm, INIAP: 82.99 ± 7.07 cm) than of watering. Nevertheless, the height of the trunk (years 2005-09) was affected by the watering factor, and more growth was obtained in the Deli x Ghana variety. The leaf area and the diameter of the crown were also larger in the Deli x Ghana variety, and they were affected positively by watering. The differences in leaf area were statistically significant in 2005, in the second half of 2008, and in 2009 (watering: 230.91 m^2 ; without watering: 210.86 m^2).

Leaf emission rate was the variable most sensitive to water deficit and significant differences were found due to the application of watering (years 2005, 2007 and 2008) and between varieties (2005 to 2008). During the rainy season of 2007, the plants that had received watering opened 2.43 ± 0.18 leaves/month vs. 2.17 ± 0.26 for the plots without watering. During the dry season for that year, the data were 2.21 ± 0.19 leaves/month and 1.79 ± 0.29 respectively. In some periods of the dry season (August-November), leaves did not open. The greatest accumulation of spear leaves (Photo 1) occurred in the dry season of 2009 when precipitation was very low in August (54 mm), September (18.3 mm), October (11.6 mm) and November (10.8 mm). The variety that apparently was more sensitive to this severe water deficit was Deli x La Mé (which accumulated six spears on average), in comparison with the two other varieties that accumulated four spears on average. The negative effect of the water deficit on oil palm vegetative development and production has been well documented in the literature (Corley and Hong 1982, Henson and Chang 1990, cited by Corley and Tinker 2009, Sanjines 1987).



Accumulation of spear leaves during the dry season in young palms without watering.

Fruit production

The formation and development of female inflorescences increased significantly in the plants that received watering (accumulated from 583 ± 110 inflorescences in the parcels with watering vs. 550 ± 84 in those without watering). Corresponding with a better appearance and vegetative growth, the greatest number of female inflorescences was found in Deli x Ghana. As a consequence of the above, the watering factor had a significant impact on bunch production (Tables 2 and 3) in the period 2007-2011. In the three palm varieties, the plots with watering were superior (accumulated for the years 2007-2011: 92.49 ± 25.22 t/ha) to those without watering (accumulated: 76.29 ± 26.26 t/ha). Deli x Ghana had higher yields in the parcels with watering (accumulated: 110.54 ± 4.06 t/ha) and without watering (accumulated: 93.35 ± 29.93 t/ha) (Table 4). The increase in production in the three varieties was the result of a greater number of bunches and an increase in their average weight, which is a normal response to watering (Corley and Tinker 2009). For example, in 2010 statistically significant differences were recorded in the average weight of the bunches between plots with and without watering (13.28 ± 3.56 kg vs. 11.53 ± 3.33 kg). The lowest production in Deli x La Mé was associated with a lower average bunch weight. In that same year, the highest average bunch weight corresponded to

INIAP (15.21 ±1.73 kg), followed by Deli x Ghana (13.94 ±2.02 kg) and Deli x La Mé (8.05 ±1.02 kg). The lowest bunch weight in this last material was associated with poor fruit set (high percentage of parthenocarpic and white fruits), particularly at the base of the bunch; which occurred because this material possibly needed assisted pollination, which was not done in this test, to maintain parity in all the agronomic tasks performed.

The positive effect of supplementary watering on oil palm has been corroborated in many similar experiments conducted in several countries such as the Ivory Coast (Corley cited by Granda 2002, Demarest cited by Sanjines 1987), Thailand and Malaysia (Tittinutchanon et al. 2000). In these and other experiences, watering improved vegetative development (e.g. higher leaf emission rate) and production (greater number of female inflorescences and reduction of abortion). In Ecuador (Quevedo), Mite et al. (1999) had determined an increase of 5 t/ha/year in the yield of fresh fruit in plots that received watering during the dry season, even though solar radiation is deficient in that area.

Years	2007	2008	2009	2010	2011	Accumulated
With watering	9.57	15.82	25.03	23.57	18.50	92.49
No watering	7.97	13.04	19.85	20.17	15.26	76.29

Years/ Varieties	2007	2008	2009	2010	2011	Accumulated
INIAP	11.04a	13.60	22.87ab	24.91a	18.10a	90.52a
Deli x La Mé 2501	2.94b	12.59	17.62b	15.41b	12.14b	60.69b
Deli x Ghana	12.34a	17.09	26.82a	25.30a	20.39a	101.94a

Like letters indicate non-significant differences.

Varieties	INIAP	Deli x La Mé 2501	Deli x Ghana
With watering	98.24	68.69	110.54
No watering	82.81	52.70	93.35

Financial analysis

Table 5 shows the financial analysis considering the operational costs for the research period 2005-2011, taking into account agronomic management, the cost of fertilizer and the cost of watering implementation and management. The cost of operation for a palm with watering was 51.58 USD (US dollars), whereas for a palm without watering it was 45.46 USD. The difference of 6.12 USD between a palm with watering and another without watering is due to items such as the pump, the piping, fuel, equipment depreciation, labor and other inputs. Depreciation of the pump house, the pump and the watering system was determined using the Ross method. The financial analysis did not encompass the entire production system, rather it was a "residual or incremental" type, for which the most important aspect is to determine the economic benefit that implementing a new technology in the crop represents (Sánchez 2011).

Varieties	Production t/ha/yr*	Price USD/t**	Income USD/ha	Income/plant USD	Cost/plant USD***	Benefit/cost	Incremental benefit/cost
INIAP-I	98.24	180.00	17683.2	123.66	51.58	2.40	3.17
INIAP-i	82.81	180.00	14905.8	104.24	45.46	2.29	
La Mé-I	68.69	180.00	12364.2	86.46	51.58	1.68	3.29
La Mé-i	52.7	180.00	9486	66.34	45.46	1.46	
DxG-I	110.54	180.00	19897.2	139.14	51.58	2.70	3.54
DxG-i	93.35	180.00	16803	117.50	45.46	2.58	

*Production period 2007-2011

**Average price for a ton of fruit during the seven years of the study

***Operational cost/plant for the period 2005-2011

Cost of motor: 4000 USD; Useful life: 10 years

Cost of watering system: 12,280 USD; Useful life: 20 years

I= irrigated plots; i = non irrigated plots; DxG = Deli x Ghana;

La Mé = Deli x La Mé

Conclusions

The positive effect of irrigation on oil palm vegetative growth and fruit yield during the dry season (July-November) was documented in the study area. The seven year study using three commercial palm varieties was considered suitable for demonstrating the above. However, differences between varieties were seen, not just in the response to the application of watering, but also in their tolerance to water deficit; which was clear in the parcels without watering. This latter aspect should be considered when selecting the varieties that are best adapted to the area, in the event watering cannot be supplied.

It is recommended that other watering and spraying systems be evaluated, particularly in zones like Quevedo and others where the water deficit is pronounced, in order to enable these areas for the crop and to offer a more progressive alternative to farmers.

The financial analysis showed a greater benefit over the cost for the Deli x Ghana variety with a calculated value of 2.70; which indicates that for each dollar invested in the crop, the investment is recovered with earnings of 1.70 USD. The greatest incremental benefit/cost ratio also corresponded to this variety, with a value of 3.54; this indicates that for each dollar invested in watering, the investment is recovered with earnings of 2.54 USD.

Bibliography

- Acosta A. 2000. Estimación de patrones diarios de consumo de agua por las plantas, con base en mediciones detalladas de humedad y temperatura, en diferentes profundidades de suelo. Modelos matemáticos y sistemas de medición. *Palmas (Colombia)* 1 (21): 107-116 (n° especial)
- Álvarez O., Silva J., Garzón E. 2006. Conceptos básicos para la realización del balance hídrico en el cultivo de la palma de aceite. Bogotá. Kronos Impresores. 46 p.
- Bernal F. 2001. El cultivo de la palma de aceite y su beneficio. Guía general para el nuevo palmicultor. Bogotá. FEDEPALMA. p. 23-28
- Burgos R. 2011. Transferencia de tecnología de ANCUPA (personal communication).
- Calvache M. 1993. Requerimientos hídricos de cultivos agrícolas en la zona de Tumbaco. Quito, EC. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. p. 1-36
- Calvache M. Comp. 1997. Agricultura de Regadío. Quito, EC. IICA. p. 96
- Calvache M. 2002. Manejo del riego en el cultivo de la palma aceitera. *El Palmicultor*. 15: 33-38
- Corley R.H.V. & Tinker P.B. 2009. La palma de aceite. Trad. Maldonado, E; Maldonado F. 4 ed. Santa Fé de Bogotá. Molher Impresores. 604 p.
- Granda E. 2002. Aspectos prácticos sobre el manejo de riego en una plantación de palma de aceite de la costa norte de Colombia. *El Palmicultor*. 15: 39-40
- Mite F, Carrillo M., Espinoza J. 1999. Influencia de la fertilización y el riego sobre el desarrollo, nutrición y rendimiento de la palma africana en la zona de Quevedo. *El Palmicultor*. 12:17 – 19
- Sanchez J. 2011. Profesor de biometría de la PUCE y asesor de ANCUPA (Comunicación personal).
- Sanjinés A. 1987. Efectos del riego y la sequía en el crecimiento, floración y producción de la palma africana. *Palmas*. 59: 59 – 61
- Titinutchanon P., Smith B.G., Corley R.H.V. 2000. Riego de las palmas de aceite en el sur de Tailandia. *Palmas*. 2 (21): 233-241 (N° especial).
- Umaña C. 2004. Morfología, crecimiento, floración y rendimiento de la palma aceitera. San José Costa Rica. In. XXVI Curso Internacional de Palma Aceitera. ASD. Memorias. p. 65-103.
- Villalobos E., Umaña C., Chinchilla C. 1990. Estudios sobre el déficit hídrico en palma aceitera (*Elaeis guineensis*) en Costa Rica-II Estado de hidratación de la planta en respuesta a la sequía. In VI Mesa Redonda Latinoamericana sobre Palma Aceitera. San José-Costa Rica. p. 75-84.

Respuesta al riego (crecimiento y producción) de tres variedades de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en la zona de La Concordia, Ecuador

Martínez Osvaldo, Hidalgo Diego, Lema Víctor, Reinoso Viviana, Camacho Oscar, Reyes Santiago, Morales Rocío, Calvache Marcelo, Bernal Gustavo¹, Vega Cristian²

Resumen

Se estudió durante siete años la respuesta al riego en tres híbridos *ténera* de palma aceitera: INIAP (variedad local), Deli x La Mé 2501 (CIRAD) y Deli x Ghana (ASD Costa Rica). La prueba de campo se realizó en el Centro de Investigaciones en Palma Aceitera (CIPAL, ANCUPA) en el cantón La Concordia, Santo Domingo de los Tsáchilas, a 260 msnm. Se utilizó riego por aspersión y la lámina de aplicación se obtuvo mediante lecturas diarias del lisímetro MC. Se utilizó un diseño de parcelas divididas con tres repeticiones, con el factor riego en la parcela grande y las variedades en las sub-parcelas. Durante todo el periodo, se obtuvieron datos del crecimiento vegetativo de las palmas y la producción de fruta. Al final del experimento se realizó un análisis financiero del proyecto.

La tasa de emisión foliar fue la variable más sensible al estrés hídrico, y en varios años fue estadísticamente mejor en las parcelas con riego; aunque también se encontraron diferencias entre variedades en su tolerancia al déficit hídrico. Durante la época seca del año 2007, las palmas que recibieron riego emitieron 2.21 ± 0.19 vs. 1.79 ± 0.29 hojas/mes en las parcelas sin riego. El rendimiento de racimos de fruta fresca (RFF) fue mayor (21.23%) en el conjunto de parcelas que recibieron riego. La variedad Deli x Ghana fue la que mejor se comportó en términos de RFF, tanto en las parcelas con riego, como en las sin riego; por lo cual el mayor margen beneficio/costo (2.70) correspondió a este material. El mayor beneficio/costo incremental (3.54) también correspondió a Deli x Ghana.

Introducción

En el año 2005, el área plantada de palma aceitera en Ecuador superaba las 207.000 hectáreas (Censo Nacional, ANCUPA 2005). Dado que 87% de los productores son considerados pequeños (con 50 ha o menos), se desprende que el cultivo cumple una función social predominante. No obstante, en algunas regiones como el Bloque Occidental (Santo Domingo, La Concordia, Quinindé y Quevedo), la productividad es bastante baja (14 t de fruta/año) o menos (Burgos, 2011). Una de las causas de la baja productividad es el déficit hídrico que se presenta durante el segundo semestre del año. El efecto beneficioso del riego ha sido documentado en palma aceitera, pero en Ecuador existe poca información

sobre esta práctica, y no se tiene un criterio claro sobre el manejo apropiado del recurso agua en este cultivo.

ANCUPA en colaboración con la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador, llevó a cabo un estudio de siete años de duración (2005-2011), con la participación de siete estudiantes, que utilizaron la información colectada por cada uno durante un año, como base para la tesis de grado de ingeniero agrónomo. El propósito del estudio fue evaluar la influencia del riego sobre el crecimiento vegetativo y la producción de tres híbridos *ténera* de *Elaeis guineensis*: INIAP (variedad local), Deli x La Mé 2501(CIRAD) y Deli x Ghana (ASD).

Descriptores: *palma aceitera, riego, crecimiento, rendimiento.*

¹ Director of Research, ANCUPA, e-mail: gbernal@ancupa.com;

² Assistant investigator, ANCUPA, e-mail: cvega@ancupa.com, Others: Central University of Ecuador-UCE and Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera [National Association of Oil Palm Growers], ANCUPA

Materiales y Métodos

El trabajo de campo se desarrolló en el Centro de Investigaciones de Palma Aceitera (CIPAL) perteneciente a la Asociación de Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera (ANCUPA), ubicado en la vía Santo Domingo-Quinindé (km 37.5), cantón La Concordia, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. El sitio experimental está a 260 msnm, 0°02'29" (latitud sur) y 79°24'54" (longitud occidental). La temperatura media anual es de 24.2 °C, la luminosidad de 626 horas luz por año, la humedad relativa 86 % y la nubosidad de 7/8. La precipitación anual es de 2881.2 mm, pero mal distribuida (Fig. 1).

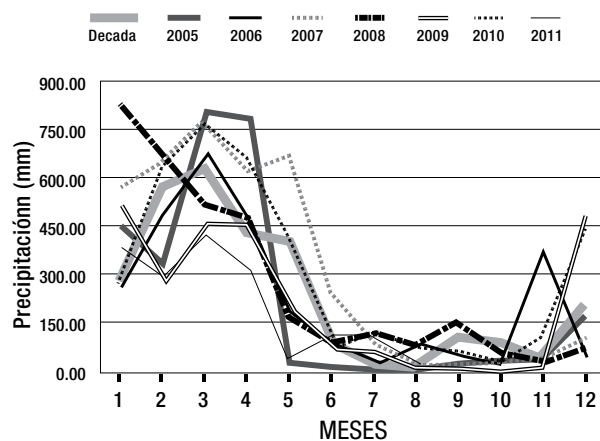


Fig 1. Precipitación histórica en el Centro de Investigación en Palma Aceitera (CIPAL)

El relieve es ligeramente ondulado y los suelos Inceptisoles bien drenados de origen volcánico, con un contenido de materia orgánica entre 5 y 6 %, pH 4.6 y conductividad eléctrica baja (0.4-0.45 mmhos/cm). El detalle de los tratamientos se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos de riego por aspersión aplicados a tres variedades de palma aceitera	
N°	Descripción
1	Sin riego x INIAP
2	Sin riego x Deli x La Mé 2501
3	Sin riego x Deli x Ghana
4	Con riego x INIAP
5	Con riego x Deli x La Mé 2501
6	Con riego x Deli x Ghana

Se utilizó un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones, con el riego en la parcela grande y las variedades en las pequeñas, para un total de 18 parcelas

de 30 plantas y una unidad experimental de ocho palmas. El experimento cubría un área de 37 752.49 m² (194.3 m x 194.3 m), con parcelas grandes de 6 289.92 m² (70.2 m x 89.6 m) y las pequeñas de 2 096.64 m² (23.4 m x 89.6 m). El riego fue por aspersión, con 47 aspersores por hectárea, ubicados a una distancia de 13.5 m entre aspersores y 15.6 m entre líneas de aspersores. El caudal aplicado por cada aspersor fue de 3.05 mm/hora, con una presión de 40 psi. El alcance de cada aspersor fue de 10 metros con un traslape de cuatro metros.

En el área experimental se ubicó un lisímetro MC y cinco tensiómetros (tres en el área regada y dos en la sin riego), cuyas lecturas diarias se utilizaron para determinar los calendarios de riego durante la época seca. Para calcular la lámina de riego se siguió las recomendaciones descritas por Calvache (1993), y se utilizó un coeficiente de cultivo (Kc) 0.75 a 1.25 según la edad del cultivo (Calvache 2002).

Las palmas fueron sembradas en diciembre del 2004 y la recolección de la información se inició a principios de enero del año siguiente. Cada seis meses se midió la altura del tallo y su diámetro en la base, el área foliar, el diámetro de la corona foliar y se determinó la tasa de emisión foliar (hojas/mes) y la razón de sexo. La producción de racimos de fruta se tomó cada dos semanas y se determinó el número y el peso promedio de los mismos.

Para evaluar la uniformidad del sistema de riego se utilizó la metodología que describe Cristhiansen, citado por Calvache (1997), y para determinar los costos operacionales se calculó el 'beneficio/costo incremental' o 'análisis residual', que contempla únicamente las ganancias que se obtienen al implementar una nueva tecnología (Sánchez 2011). Las labores de fertilización, controles fitosanitarios y demás prácticas de manejo del cultivo, se realizaron siguiendo las recomendaciones técnicas del CIPAL.

Resultados y Discusión

Crecimiento vegetativo

El diámetro del tallo en la base varió más en función de la variedad (Deli x Ghana: 91.60 ± 5.33 cm, Deli x La Mé 2501: 89.73 ± 6.02 cm, INIAP: 82.99 ± 7.07 cm) que del riego. No obstante, la altura del tronco (años 2005-09) si fue afectada por el factor riego, y la variedad Deli x Ghana fue la de mayor crecimiento. El área foliar y el diámetro de la corona fueron también favorecidos por el riego, y los mayores valores correspondieron también a la variedad Deli x Ghana. Las diferencias en área foliar fueron estadísticamente significativas en el 2005, en el segundo semestre del 2008, y en el año 2009 (con riego: 230.91 m^2 ; sin riego: 210.86 m^2).

La tasa de emisión foliar fue la variable más sensible al déficit hídrico y se encontraron diferencias significativas debidas a la aplicación del riego (años 2005, 2007 y 2008) y entre variedades (2005 al 2008). Durante el periodo de lluvias del año 2007, las plantas que habían recibido riego abrieron 2.43 ± 0.18 hojas/mes vs. 2.17 ± 0.26 en las parcelas sin riego. Durante la época seca de ese año, los datos fueron de 2.21 ± 0.19 y 1.79 ± 0.29 hojas/mes respectivamente. En algunos periodos de la época seca (agosto-noviembre) no se abrieron hojas. La mayor acumulación de hojas flecha (Foto 1) ocurrió en la época seca del año 2009 cuando la precipitación fue muy baja: agosto (54 mm), septiembre (18.3 mm), octubre (11.6 mm) y noviembre (10.8 mm).

La variedad que aparentemente fue más sensible a este déficit hídrico severo fue Deli x La Mé, que acumuló seis flechas en promedio, en comparación con las otras dos variedades en donde se acumularon cuatro flechas en promedio. El efecto negativo del déficit hídrico sobre el desarrollo vegetativo y la producción de la palma aceitera ha sido bien documentado en la literatura (Corley y Hong 1982, Henson y Chang 1990, citados por Corley y Tinker 2009, Sanjines 1987).



Acumulación de hojas flecha durante la época seca en las plantas sin riego

Producción de fruta

La formación y desarrollo de inflorescencias femeninas se incrementó significativamente en las plantas que recibieron riego (acumulado de 583 ± 110 inflorescencias en las parcelas con riego vs. 550 ± 84 en las sin riego). Correspondiendo con un mejor aspecto y crecimiento vegetativo, el mayor número de inflorescencias femeninas se encontró en Deli x Ghana (riego: acumulado de 635 ± 68 ; sin riego: 592 ± 90). Deli x La Mé 2501 fue segundo (566 ± 71 vs. 40 ± 112) e INIAP, tercero (546 ± 89 vs. 519 ± 59).

Como consecuencia de lo anterior, el factor riego tuvo un impacto significativo sobre la producción (Cuadros 2 y 3) de racimos de fruta fresca en el periodo (2007-2011). En las tres variedades, las parcelas con riego fueron superiores (acumulado de los años 2007-2011: $92,49 \pm 25,22$ t/ha) a aquellas sin riego (acumulado: $76,29 \pm 26,26$ t/ha). Deli x Ghana tuvo mayor rendimiento tanto en las parcelas con riego (acumulado: $110,54 \pm 4,06$ t/ha), como sin riego (acumulado: $93,35 \pm 29,93$ t/ha) (Cuadro 4).

El incremento en producción en las tres variedades fue el resultado de un mayor número de racimos y aumento en el peso promedio de los mismos, lo cual es una respuesta normal al riego (Corley y Tinker 2009). Por ejemplo, en el año 2010 se registraron diferencias estadísticamente diferentes en el peso promedio de los

racimos entre parcelas con y sin riego (13.28 \pm 3.56 kg vs. 11.53 \pm 3.33 kg). La menor producción en Deli x La Mé se asoció a un menor peso promedio del racimo. En ese mismo año, el mayor peso promedio del racimo correspondió a INIAP (15.21 \pm 1.73 kg), seguido por Deli x Ghana (13.94 \pm 2.02 kg) y luego por Deli x La Mé (8.05 \pm 1.02 kg). El menor peso del racimo en este último material se asoció con una conformación (*fruit set*) deficiente (alto porcentaje de frutos partenocárpicos y vanos), particularmente en la base del racimo; lo cual ocurrió debido a que posiblemente este material necesita polinización asistida, la cual no se realizó en esta prueba para mantener la paridad en todas las labores agronómicas realizadas.

El efecto positivo del riego en palma aceitera ha sido corroborado en muchos experimentos similares realizados en varios países como Costa de Marfil (Corley citado por Granda 2002, Demarest citado por Sanjines 1987), Tailandia y Malasia (Tittinutchanon et al. 2000). En estos y otras experiencias, el riego mejoró el desarrollo vegetativo (ej. mayor tasa de emisión foliar) y la producción (mayor número de inflorescencias femeninas y reducción del aborto). En Ecuador (Quevedo), Mite et al. (1999) observaron un aumento de 5 t/ha/año en el rendimiento de fruta fresca en parcelas que recibieron riego durante la época seca, a pesar de que la radiación solar en esa área es deficiente.

Cuadro 2. Producción anual de racimos de fruta fresca (t/ha) registrada en parcelas de palma aceitera con y sin riego. La Concordia, Ecuador						
Años	2007	2008	2009	2010	2011	Acumulado
Con riego	9.57	15.82	25.03	23.57	18.50	92.49
Sin riego	7.97	13.04	19.85	20.17	15.26	76.29

Cuadro 3. Producción anual de racimos de fruta fresca (t/ha) en tres variedades de palma aceitera en un experimento con parcelas con y sin riego. La Concordia, Ecuador						
Años/ Variedades	2007	2008	2009	2010	2011	Acumulado
INIAP	11.04a	13.60	22.87ab	24.91a	18.10a	90.52a
Deli x La Mé 2501	2.94b	12.59	17.62b	15.41b	12.14b	60.69b
Deli x Ghana	12.34a	17.09	26.82a	25.30a	20.39a	101.94a

Letras iguales indican diferencias no significativas.

Cuadro 4. Producción acumulada (años 2007-2011) de racimos de fruta fresca en tres variedades de palma aceitera sembradas en parcelas con y sin riego. La Concordia, Ecuador

Variedades	INIAP	Deli x La Mé 2501	Deli x Ghana
Con riego	98.24	68.69	110.54
Sin riego	82.81	52.70	93.35

Análisis financiero

En el Cuadro 5 se muestra el análisis financiero considerando los costos operacionales durante el período de investigación 2005-2011, que incluyen el manejo agronómico, la aplicación del fertilizante y la implementación y el manejo del riego. El costo por palma con riego fue de 51.58 USD (dólares de los Estados Unidos de América) y sin riego de 45.46 USD. La diferencia de 6.12 USD entre una palma con riego y otra sin riego se debe a rubros como la bomba, la tubería, el combustible, la depreciación del equipo, mano de obra y otros insumos. La depreciación de la caseta de bombeo, la bomba y el sistema de riego fue determinada por el método de Ross. El análisis financiero realizado fue del tipo "residual o incremental", en donde lo más importante es determinar el beneficio económico que representa implementar una nueva tecnología en el cultivo (Sánchez 2011).

Cuadro 5. Análisis financiero incremental de la respuesta al riego durante el período de investigación (2005-2011). La Concordia, Ecuador

Variedades	Producción t/ha/año*	Precio USD/t**	Ingreso USD/ha	Ingreso/planta USD	Costo/planta USD***	Benef/costo	Benef/costo Incremental
INIAP-I	98.24	180.00	17683.2	123.66	51.58	2.40	3.17
INIAP-i	82.81	180.00	14905.8	104.24	45.46	2.29	
La Mé-I	68.69	180.00	12364.2	86.46	51.58	1.68	3.29
La Mé-i	52.7	180.00	9486	66.34	45.46	1.46	
DxG-I	110.54	180.00	19897.2	139.14	51.58	2.70	3.54
DxG-i	93.35	180.00	16803	117.50	45.46	2.58	

*Producción período 2007-2011; **Precio promedio de la tonelada de fruta durante los siete años del estudio; ***Costo operacional/planta del período 2005-2011
Costo del motor: 4000 USD; Vida útil: 10 años
Costo del sistema de riego: 12 280 USD; Vida útil: 20 años
R= parcelas con riego; SR= parcelas sin riego; DxG = Deli x Ghana; La Mé = Deli x La Mé

Conclusiones

Se evaluó y documentó el efecto positivo del riego por aspersión sobre el crecimiento vegetativo y el rendimiento de fruta de la palma aceitera durante la época seca (julio-noviembre) en la zona de estudio. El estudio de siete años de duración utilizando tres variedades comerciales de palma se consideró adecuado para demostrar lo anterior. Se observaron diferencias entre variedades, no solo en respuesta a la aplicación del riego, sino en su tolerancia al déficit hídrico; lo cual fue claro en las parcelas sin riego. Este último aspecto debe ser considerado para seleccionar las variedades que mejor se adaptan a la zona, en caso de que no sea posible suministrar riego.

Se recomienda evaluar otros sistemas de riego, además del de aspersión, particularmente en zonas como Quevedo y otras donde el déficit hídrico es pronunciado, con el fin de habilitar estas áreas para el cultivo y ofrecer una alternativa más de progreso a los agricultores.

El análisis financiero arrojó un mayor beneficio sobre el costo para la variedad Deli x Ghana con un valor calculado de 2.70; lo cual indica que por cada dólar invertido en el cultivo se recupera la inversión y se obtiene una ganancia de 1.70 USD. El mayor beneficio/costo incremental también correspondió a esta variedad, con un valor de 3.54; lo cual indica que por cada dólar invertido en riego se recupera la inversión y se ganan 2.54 USD.

Bibliografía

- Acosta A. 2000. Estimación de patrones diarios de consumo de agua por las plantas, con base en mediciones detalladas de humedad y temperatura, en diferentes profundidades de suelo. Modelos matemáticos y sistemas de medición. Palmas (Colombia) 1 (21): 107-116 (n° especial)
- Álvarez O., Silva J., Garzón E. 2006. Conceptos básicos para la realización del balance hídrico en el cultivo de la palma de aceite. Bogotá. Kronos Impresores. 46 p.
- Bernal F. 2001. El cultivo de la palma de aceite y su beneficio. Guía general para el nuevo palmicultor. Bogotá. FEDEPALMA. p. 23-28
- Burgos R. 2011. Transferencia de tecnología de ANCUPA (personal communication).
- Calvache M. 1993. Requerimientos hídricos de cultivos agrícolas en la zona de Tumbaco. Quito, EC. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. p. 1-36
- Calvache M. Comp. 1997. Agricultura de Regadío. Quito, EC. IICA. p. 96
- Calvache M. 2002. Manejo del riego en el cultivo de la palma aceitera. El Palmicultor. 15: 33-38
- Corley R.H.V. & Tinker P.B. 2009. La palma de aceite. Trad. Maldonado, E; Maldonado F. 4 ed. Santa Fé de Bogotá. Molher Impresores. 604 p.
- Granda E. 2002. Aspectos prácticos sobre el manejo de riego en una plantación de palma de aceite de la costa norte de Colombia. El Palmicultor. 15: 39-40
- Mite F, Carrillo M., Espinoza J. 1999. Influencia de la fertilización y el riego sobre el desarrollo, nutrición y rendimiento de la palma africana en la zona de Quevedo. El Palmicultor. 12:17 – 19
- Sanchez J. 2011. Profesor de biometría de la PUCE y asesor de ANCUPA (Comunicación personal).
- Sanjinés A. 1987. Efectos del riego y la sequía en el crecimiento, floración y producción de la palma africana. Palmas. 59: 59 – 61
- Titinutchanon P., Smith B.G., Corley R.H.V. 2000. Riego de las palmas de aceite en el sur de Tailandia. Palmas. 2 (21): 233-241 (N° especial).
- Umaña C. 2004. Morfología, crecimiento, floración y rendimiento de la palma aceitera. San José Costa Rica. In. XXVI Curso Internacional de Palma Aceitera. ASD. Memorias. p. 65-103.
- Villalobos E., Umaña C., Chinchilla C. 1990. Estudios sobre el déficit hídrico en palma aceitera (*Elaeis guineensis*) en Costa Rica-II Estado de hidratación de la planta en respuesta a la sequía. In VI Mesa Redonda Latinoamericana sobre Palma Aceitera. San José-Costa Rica. p. 75-84.



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