



ISSN
1019-1100

NUMBER 41, 2013

ASD OIL PALM PAPERS



Optimum seedlings for field transplanting, Quepos, C.R.



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

Number 41

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 Jacq.) to a steady water supply under greenhouse conditions*
12. 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.
23. *Native 'mycorrhizal' association in oil palm (Elaeis guineensis) in Ecuador and evaluation of colonization efficiency in nursery palms*
32. Asociación 'micorrízica' nativa en palma aceitera (*Elaeis guineensis*) en Ecuador y evaluación de su eficiencia de colonización en palmas de vivero
Maldonado Lucrecia, Bravo Vladimir, Morales Rocío, Bernal Gustavo.

Cover page

Plántulas óptimas para trasplantar al campo, Quepos, Costa Rica.
Optimum seedlings for field transplanting, Quepos, Costa Rica.

Physiological response of young oil palms (*Elaeis guineensis* Jacq.) to a steady water supply under greenhouse conditions

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

Abstract

The study examined the physiological behavior of eight-month-old oil palms (*Elaeis guineensis*) of four varieties (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS and Deli x Yangambi) that received a stable water supply in two soils with contrasting moisture retention capacities (silty clay loam and sandy loam), which are normally used for the cultivation of oil palm in the Tumaco region of Colombia. The palms were planted in pots distributed in a completely randomized design in a factorial arrangement (2 soils, 4 treatments, 4 genotypes and 4 repetitions). The treatments consisted of maintaining soil water near 45%, 40%, 35% or 30% volumetric moisture. Leaf water potential (ψ_h), gas exchange and vegetative development of the palms were evaluated. The Tanzania x Ekona variety showed better adaptation of ψ_h to changes in soil moisture and it maintained higher ψ_h values for all soil moisture contents.

The type of soil affected photosynthetic activity behavior, soil moisture content and the behavior of the varieties. In general, net photosynthesis (F_n) was greater in the sandy loam soil, particularly for Bamenda x Ekona. With Tanzania x Ekona the highest F_n value occurred with the silty clay loam soil.

The results showed the existence of a relationship between the photosynthetic activity of the palms and soil moisture content. The highest F_n values (which were associated with better vegetative development of the plants) were obtained at a volumetric moisture of 45% (ψ_s -0.042 MPa) and 40% (ψ_s -0.250 MPa); hence it is estimated that the field capacity of the species with respect to soil moisture corresponds to a range of ψ_s between -0.042 MPa and -0.250 MPa.

The great sensitivity of the species in its photosynthetic and growth activity to changes in soil moisture was documented, even within the range of water theoretically considered as readily available to the plants. This characteristic can be used during the early selection of genotypes tolerant to water stress, measuring ψ_h , transpiration and F_n .

¹ I. Agron. Investigator Ph. D., CORPOICA, Colombia, rreyes@corpoica.org.co

² I. Agron. Ph. D. Investigator coordinator plant physiology, CENICAFE, Colombia, nestorm.riano@cafedecolombia.com

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

⁴ I. Agron. Investigator, CORPOICA, Colombia, lnibarra@gmail.com

Introduction

Poor soil aeration caused by water excess reduces water and nutrient uptake by the plants. On the other hand, a water deficit affects stomatal conductance and diminishes gas exchange, negatively affecting growth and production.

In general, it is accepted that the water available to the plant is that which is found between the field capacity value in the soil and the permanent wilting point (- 0.03 MPa and - 1.5 MPa). However, these values do not necessarily reflect the behavior of all plant species (or varieties), since each one has particular mechanisms of plasticity and adaptation that are genetically regulated.

Many regions of the world where oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) is planted have seasons with water excess and/or deficit in the soils. In the Tumaco region of Colombia, the rainfall regimen has changed in recent years due to the effects of the oceanic phenomena of La Niña and El Niño (Corley and Tinker 2003, Cadena et al. 2004). These extreme climate conditions have also been

associated with the appearance and development of major phytosanitary disorders such as spear rots, which have caused enormous losses on commercial oil palm plantations in many tropical American countries (Chinchilla 2008, FEDEPALMA 2010 and 2011).

There are numerous studies about the impact of water deficit on oil palm growth and productivity and the means of alleviating these problems using irrigation (Villalobos et al. 1990, Foong 1999, Mite et al., 1999, Kallarackal et al., 2004, Lee et al., 2005). Nevertheless, in palm growing zones it is common for the prevalent problem to be an excess of water in the soil, but the impact of this condition on the growth and health of the plant has not been well studied (Villalobos 1995, Corley and Tinker 2003 Alvarado and Sterling 2005, Chinchilla et al. 2007). The objective of this research was to document the physiological and morphological behavior of four varieties of oil palm to a steady supply of soil moisture at different contents, and to determine the soil moisture values that are related to optimal values for gas exchange, photosynthetic activity and plant development.

Materials and Methods

The study was carried out in a plastic-covered screen house (greenhouse) from December 2007 to November 2008 at the El Experimental Mira Station of the Colombian Agricultural Research Corporation (*Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA*), in Tumaco, Nariño, Colombia, at 1°32'58" N latitude and 78°41'21" W longitude at 16 masl. The region has tropical moist forest conditions (Holdridge 1967). Annual accumulated precipitation is 3,067 mm, annual average mean temperature is 25.5 °C, annual average relative humidity is 88%, potential evapotranspiration is 1,023 mm/year, annual accumulated sunshine is 1,008 hours and annual accumulated radiation is 15,080 J/cm² (CCCP 2004, Holdridge 1967, Morales 1972, IGAC 2004, IDEAM 2009).

The palms were planted in two types of soil representative of the Tumaco palm growing zone in the Pital (PT) and Piragua (PR) series of the Inceptisols order. The first soil is classified as *Vitrandid eutrudept*, silty clay loam, poorly drained with good moisture retention. The second is classified as *Andic dystrudept*, sandy loam, well drained with low moisture retention capacity (IGAC 2004). Samples were extracted for each soil at five depths and their physical characteristics and moisture retention curves were determined in pressure cookers at pressures of 0.03, 0.15, 1.0 and 1.5 MPa.

The oil palm varieties used (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS and Deli x Yangambi) have shown different behavior under stress conditions, including water deficit and response to spear rots (Alvarado and Sterling 2005; Chinchilla et al. 2007).

Each soil was homogenized in terms of aggregate size (mesh size 10) and a similar weight was used to fill plastic pots (30 cm diameter, 40 cm height) with drainage holes in the lower part. Perforations were made on the sides of each pot at 10 and 20 cm deep, to install psychrometer sensors (PST-55-30-SF-Wescor, Inc.) for determining soil water potential (ψ_s).

Two-month old plants of four palm varieties were planted individually in each pot (64 pots per soil and 16 plants/variety). The plants were kept in a greenhouse in a completely randomized arrangement. Based on the soil drying curves determined in a prior study (Reyes et al. 2013), the treatments were defined that consisted of keeping soil moisture close to the values in Table 1.

Table 1. Volumetric moisture (VM) and soil water potential (ψ_s) treatments in two soils: silty clay loam (SCL) and sandy loam (SL). Tumaco, Colombia

VM sought	Silty clay loam soil		Sandy loam soil	
	ψ_s (MPa)	HV (%)	ψ_s (MPa)	HV (%)
45%	-0,049	47	-0,043	45
40%	-0,253	41	-0,248	39
35%	-0,345	36	-0,343	34
30%	-0,448	31	-0,441	30

Volumetric moisture of the soil was calculated from the water potentials (ψ_s , MPa) measured at 10 and 20 cm of depth and the moisture retention curves obtained in the laboratory.

When the plants reached eight months of age, water was slowly added to the soil in the pots until they were saturated, and free drainage was then allowed to occur for 72 hours after which they were weighed to the nearest gram. To measure ψ_s PST-55-30-sf psychrometer sensors were used, coupled with a Wescor HRT-33 microvoltmeter (Wescor 2006).

Each pot was weighed daily until the volumetric moisture required by each treatment was reached: 45%, 40%, 35% or 30%, with their corresponding ψ_s (MPa). During the next 90 days, the pots were weighed to replace evapotranspired water and in this way maintain volumetric moisture close to the desired value. During this process all weeds growing in the pots were eliminated and no cover plants were used. Verification of the treatments was done by measuring ψ_s at 20 cm.

In addition, leaf water potential (ψ_h , MPa) and gas exchange were measured in the central leaflets of leaf number four in the phyllotaxy. We measured ψ_h between 6:00 and 8:00 hours using the L-51-SF chamber (Wescor Inc.) connected to a Wescor HRT-33 microvoltmeter (Wescor, 2006a). Gas exchange (net photosynthesis and transpiration) and the associated microclimate variables were measured between 8:00 and 17:00 hours at one-hour intervals, using a LI-6200 portable photosynthesis system (Licor, Nebraska, USA) (Reyes et al. 2013). Finally, the water vapor pressure deficit (VPD) and the concentration of CO₂ in the air were determined. Given that the highest photosynthetic activity of oil palm in the study region occurred between 09:00 and 11:00 hours (determined previously using the daily CO₂ assimilation curve), particular attention was paid during this period.

Ninety days after the onset of the treatments, we measured plant height (from ground level to the start point of the rudimentary leaflets at the petiole of leaf four), the number of leaves, the width and depth of the petiole (P x S) of leaf four, the area of leaf four and the number of leaf spears (unopened leaves). Subsequently we removed the plants from each pot, washed the roots with water to measure the diameter of the base (bulb) and we determined the number of primary roots. Finally, we determined the fresh and dry weights (in an oven at 70 °C) of the plants. The measurements of vegetative growth and others were made following the criteria of Corley and Breure 1981, Henson et al., 2005, Reyes et al. 2008, Taylor et al. 2008.

We used a completely randomized experimental design: two soils x four treatments x four varieties x four repetitions; the experimental unit was the pot with its plant. The data were subjected to descriptive statistics, analyses of variance and multivariate analyses by principal components, obtaining the mathematical-statistical functions that best described the behavior of the response variables and their relationships using MS-Excel, SAS® Analytics Pro and Sigma Plot® 11 programs.

Results and Discussion

Conditions inside the greenhouse

Most of the values of photosynthetically active radiation (PAR) were below $650 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, which is lower than what is normally found in other areas where the values for the energy supply can reach $2,000 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ or more. Oil palm is expected to perform well in areas with a light supply of 400 to $1,150 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Henson 1993, Corley and Tinker 2003, Noor et al. 2005).

Daily leaf temperature and air temperature varied from 26°C to 37°C (at midday). The maximum value indicated is not considered limiting for oil palm photosynthesis (Dufrene and Saugier 1993, Corley and Tinker 2003). The water vapor pressure deficit in the air (VPD) was normally higher than 1.7 kPa, which constitutes a limitation to photosynthetic activity (suitable range: 0.5-1.7 kPa, Dufrene and Saugier 1993, Henson et al. 2005). Average relative humidity was 60%, with maximum values around 80% in the morning and late afternoon.

The atmospheric concentration of CO_2 was frequently higher than 420 ppm, which is higher than the global average (Mauna Loa, Hawaii, August 2011: 390.02 ppm). This high CO_2 supply can partially ameliorate the effects of low PAR and VPD values in a C_3 -type plant such as oil palm, where high internal CO_2 values cause a reduction of photorespiration and an increase in carbon assimilated (the enzyme RuBisCO functions more like a carboxylase and proportionally reduces its activity as an oxygenase). Additionally, increased CO_2 in the atmosphere increases efficiency in the use of solar radiation and reduces stomatal conductance and transpiration with a consequent increase in water use efficiency by the plants ($WUE = Fn/T$) (Losch and Schulze 1995, López 2000, Shibles and Villalobos 2001). We also observed that an increase in the concentration of CO_2 in the atmosphere (400, 800, 1,200 ppm) increased the rate of photosynthesis and the quantum yield of carbon assimilation (number of molecules of CO_2 fixed per photon absorbed), reduced the respiration rate and the light compensation point, and increased efficiency in water use (Jaafar and Ibrahim 2012 Ibrahim et al. 2010).

Water potential of the leaf (ψ_h)

ψ_h varied as a function of the interaction between soils, their moisture content and genotypes ($P < 0.05$). In the silty clay loam soil (SCL), the Bamenda x Ekona variety (ψ_h -0.17 MPa) and Deli x AVROS (ψ_h -0.14 MPa) showed better hydration than in the sandy loam soil (SL) ($p < 0.01$). In contrast, Deli x Yangambi (ψ_h -0.13 MPa) and Tanzania x Ekona (ψ_h -0.18 MPa) showed better leaf hydration in this latter soil (Fig. 1A). ψ_h diminished in all varieties with the reduction of volumetric moisture (VM, %) in both soils. The highest values of ψ_h in both soils was measured when VM was 45% (SCL: -0.11 MPa; SL: -0.15 MPa) and 40% (SCL: -0.16 MPa; SL: -0.18 MPa) (Fig. 1B).

Deli x AVROS (DxA) and Tanzania x Ekona (TxE) performed similarly with reductions of ψ_h in the two soils, but Deli x Yangambi (DxY) showed the highest reduction of ψ_h in SCL soil (ψ_h -0.15 to -0.40 MPa) and Bamenda x Ekona (BxE) in the SL soil (ψ_h -0.15 to -0.35 MPa) (Figs. 1C and 1D). This indicates that DxA and TxE presented higher plasticity of ψ_h regarding their adaptation to changes in the VM of the soil. The ψ_h values (-0.01 to -0.45 MPa) in the two soils for plants of all genotypes are found within the range determined for oil palm in other studies (Villalobos 2001, Kallarackal et al. 2004).

Gas exchange

The most common net photosynthesis (Fn) values were between 2.5 and $15.0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; which is normal for the species (3.0 - $27.0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Lamade et al., 2009, Noor et al. 2005). The maximum values (10:00-11:00 hours; $P < 0.05$) occurred in plants growing in the sandy loam soil, except when the volumetric moisture of this was 30% (Fig. 2A). The effect is possibly due to better aeration in this substrate with moistures above 35%. For the silty clay loam soil, 30% moisture was apparently a sufficient value.

Soil moisture content had a notable effect on Fn , which indicates the great sensitivity of oil palm photosynthetic activity to diminishing soil water content, even within

the range of water that can be (in theory) readily available to plants (ψ_s between -0.03 MPa and -0.50 MPa). Maximum F_n values were obtained when volumetric moisture was between 45% (ψ_s -0.042 MPa) and 40% (ψ_s -0.250 MPa); this occurred regardless of soil type and variety. The opposite was observed with moistures lower than 40% (35%: ψ_s -0.343 MPa; 30%: ψ_s -0.441 MPa).

Tanzania x Ekona showed the highest F_n values (3.0-4.6 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) in SCL soil, independent of moisture

content. The Bamenda x Ekona variety did not show an appreciable reduction of F_n with the reduction of soil moisture content (Fig. 2B). In SL soil, the highest F_n values were observed in Bamenda x Ekona (3.2-5.5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) and Tanzania x Ekona (3.4-5.1 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), for most soil moisture contents, except for the value of 30% (Fig. 2C). The response observed is interpreted as an indication of greater physiological tolerance to water deficit of the referenced varieties, for which evidence is already in existence (Reyes et al. 2013).

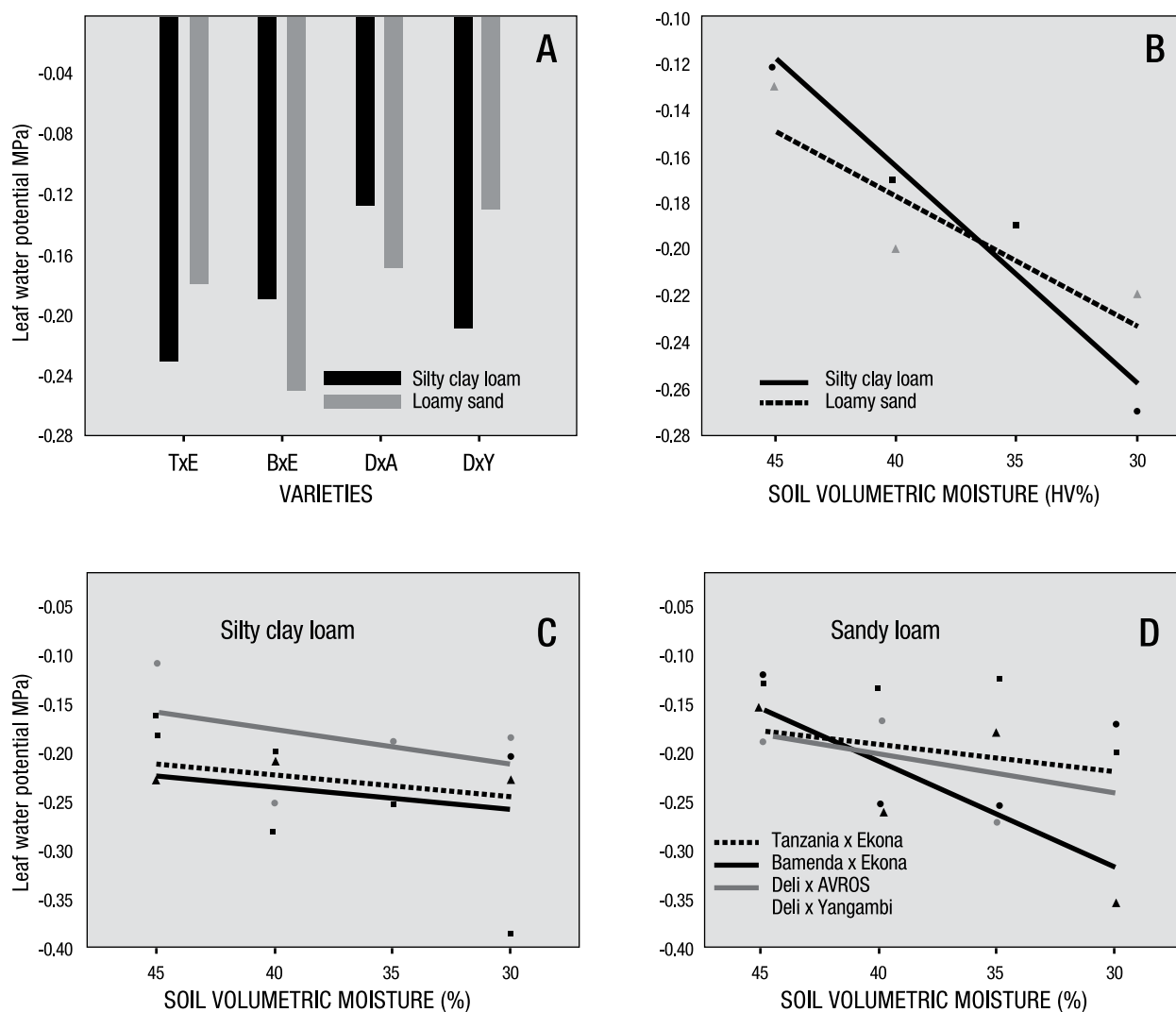


Fig 1. Interactions for leaf water potential in four varieties of oil palm (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS and Deli x Yangambi) over time in two soils (silty clay loam and sandy loam). Palms were planted in pots with the soil kept at different volumetric moisture contents. Tumaco, Colombia.

The magnitude of photosynthetic activity in these young palms is considered low, with a predominance of values between 2.5 and 9.2 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, compared to values in the range of 7.9 - 9.5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ found in other studies (Noor et al., 2005, Noor and Harun 2007). This is probably the result of low photosynthetically active radiation (high proportion of RFA values below 650 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) and a high water vapor pressure deficit in the air ($\text{VPD} > 1.7 \text{ kPa}$). In oil palm, maximum photosynthetic activity is associated with PAR values between 400 and 1,150 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Henson 1993, Corley and Tinker 2003, Noor et al. 2005, Hanif 2006); and with VPD values between 0.5 and 1.7 kPa (Dufrene and Saugier 1993, Henson et al. 2005).

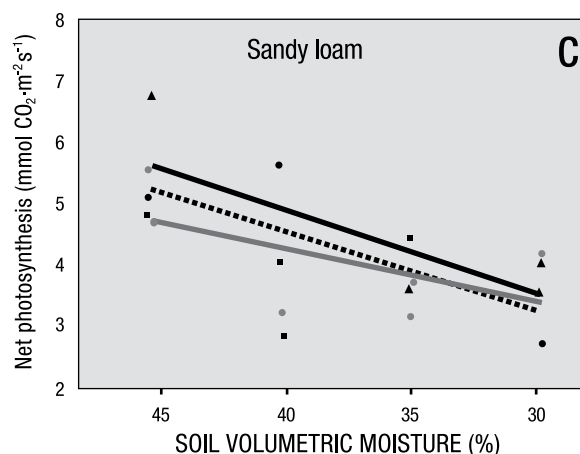
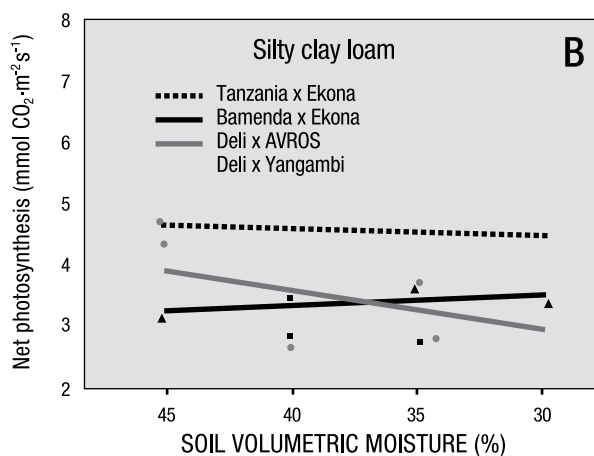
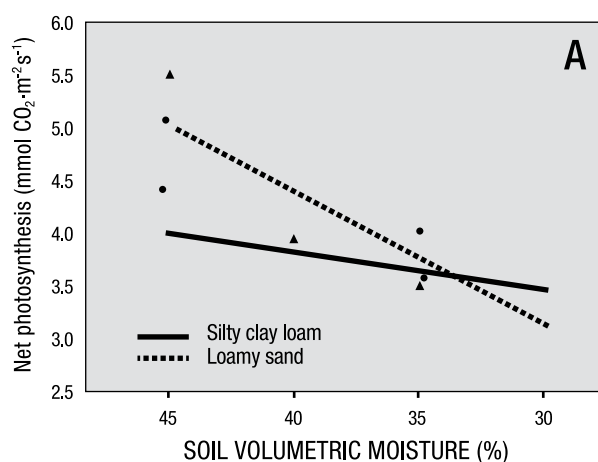


Fig 2. Interactions for net photosynthesis (10:00 to 11:00 hours) in plants of four varieties of oil palm (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVR0S and Deli x Yangambi) planted in two types of soil (silty clay loam and sandy loam) kept at different contents of volumetric moisture. Tumaco, Colombia.

Clearly for the successful cultivation of oil palm in the types of soil studied in the Tumaco region, soil moisture should be kept in the range of ψ_s -0.042 MPa to ψ_s -0.250 MPa to allow optimal photosynthetic efficiency. This means that agricultural operations necessary for improving soil aeration must be done when this is limited due to high rainfall.

Transpiration (T)

Daily transpiration activity (8:00-17:00 hours) and on different days (10:00-11:00 hours) was similar -in terms of magnitude and behavior- in all the varieties in both soils at all moisture contents. The values of T oscillated between 1.0 and 6.5 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, which agrees with the range observed for oil palm (Foong 1999, Suresh and Nagamani 2006). Net photosynthesis correlated with the intercellular concentration of CO_2 (0.80*) and with the transpiration rate (0.96**), as expected.

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

The behavior and magnitude of WUE was similar in all varieties and apparently they were not affected by the type of soil nor its moisture. The range of WUE values varied from 0.23 to 6.34 $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$, which agrees with what was observed in other studies on oil palm (Kallarackal et al. 2004, Noor et al. 2005). The results reflect the behavior of Fn and T , both components of WUE , and they illustrate the importance of the CO_2 assimilating activity for the determination of the WUE of oil palm.

VEGETATIVE DEVELOPMENT

Growth

Soil moisture content significantly affected palm vegetative growth. Root development (number of primary roots) and aerial development (plant height, diameter at base, petiole cross section, leaf area and number of leaves) was higher with a soil moisture content of 45%. Base diameter (bulb) is a particularly important trait of palms in the nursery, since it is a good indicator of plant vigor, its capacity to store reserves and accommodate a larger root mass that enables better establishment of the plants after transplanting them to the field. Similarly, the PxS value (cross section of the leaf petiole) is linked to the general vigor of the plant (Corley and Breure 1981; Corley and Tinker 2003).

Aerial growth was also favored in sandy loam soil due to its better aeration, which has also been seen in prior studies in this and other regions (Umaña et al. 1990, Bulgarelli et al. 1993, Corley and Tinker 2003, Reyes et al. 2009). An interaction was observed ($P=0.01$) for rachis length (leaf four) between the soil type and the variety.

Deli x AVROS, Tanzania x Ekona and Bamenda x Ekona showed shorter rachis length in the silty clay loam soil (Fig. 3). Rachis length was shorter in Deli x Yangambi in both soils, which is inherent to this and other varieties. This trait allows the selection of genotypes that can be planted at higher densities (Bastidas et al. 2005, 2006).

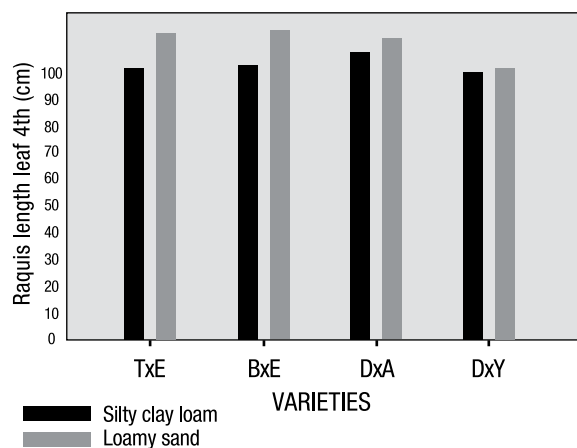


Fig 3. Rachis length (leaf four) in four varieties of oil palm plants (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS and Deli x Yangambi), planted in two types of soil, each with a different moisture content. Tumaco, Colombia.

Biomass

Biomass accumulation varied with soil type and its moisture content; a content of 45% (ψ_s -0.042 MPa) was associated with a higher accumulation of biomass in sandy loam soil (1,950 g/palm vs. 1,567 in silty clay loam soil) (Fig. 4).

Given that the SCL soil has higher moisture retention capacity and less porous space, it becomes saturated more easily than sandy loam soil, even under similar ψ_s conditions, negatively affecting the root system (less availability of oxygen) and less movement of water and nutrients in the soil/plant/atmosphere water continuum, thereby affecting gas exchange and growth (Umaña et al. 1990; Bulgarelli et al. 1993, Forsythe 1997, Villalobos 2001, Reyes et al. 2009).

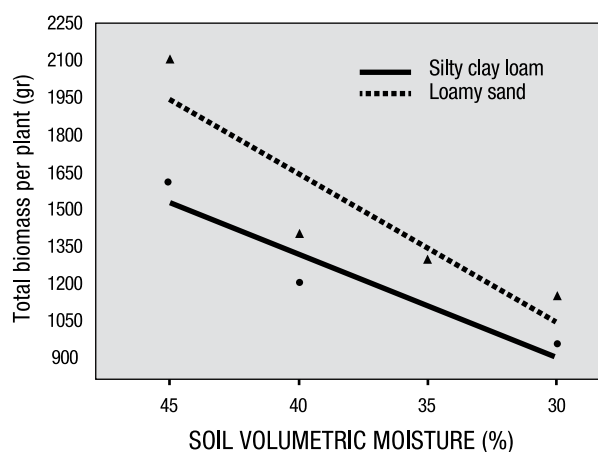


Fig 4. Total biomass of four varieties of oil palm (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS, Deli x Yangambi) planted in two soils (silty clay loam and sandy loam), each with different volumetric moisture contents. Tumaco, Colombia.

Soil moisture affected the distribution and coefficients of the biomass of the palms and the best growth occurred with 45% moisture content ($P < 0.05$): higher ratios between root biomass and plant biomass, aerial part biomass and plant biomass, and aerial part biomass and root biomass (Table 2). The values for these ratios are consistent with those found in other studies on nursery plants (Sterling 1993, Reyes et al. 2008).

Aerial part biomass diminished and root biomass increased when changing from a soil moisture content of 45% (ψ_s -0,042 MPa) to one of 30% (ψ_s -0,441 MPa) (Table 2). Under these conditions, the plant should

invest more energy in root development and the average life of roots is reduced when soil aeration is reduced. Although the aerial part/root ratio has a strong genetic influence, this can be modified by factors such as water stress (Rodríguez and Leihner 2006).

The responses observed indicate that the highest photosynthetic activity of young palms is associated with better vegetative development and this is obtained when soil moisture is kept between 45% (ψ_s -0.042 MPa) and 40% (ψ_s -0.250 MPa). It is estimated that in the study region (Tumaco), the soil moisture (ψ_s) required for good palm development should be kept in the range of -0.042 MPa and -0.250 MPa in the first 40 cm of substrate depth.

Table 2. Proportions and ratios of biomass per plant in four varieties of oil palm in the nursery, after 90 days of development in two soils (silty clay loam and sandy loam) with different moisture contents. Tumaco, Colombia

Soil volumetric moisture	Proportion de biomass (%)		Ratio de biomass
	Roots/plant	Aerial part/plant	Aerial part/roots
45%	21.17 a	78.83 a	4.05 a
40%	24.29 b	75.71 b	3.23 b
35%	24.86 b	75.13 b	3.22 b
30%	27.03 b	72.97 b	2.86 b

Measurements followed by the same letter in the columns are not significantly different from one another (Duncan: $p > 0.05$).

Leaf area per plant was significantly related to total root biomass (0.83**)⁵, petiole base biomass (0.80**), petiole biomass (0.83**), leaflet biomass (0.90**) and total plant biomass (0.82**).

Conclusions and Recommendations

We found that the photosynthetic activity and vegetative development of young oil palms are sensitive to reductions in soil moisture content, even within the range of water contents considered rapidly usable by plants (ψ_s -0.03 MPa and -0.50 MPa). This behavior should be taken into account when selecting soils for the development of plants in the nursery and also when selecting lands for the establishment of plantations and subsequent management of physical soil characteristics. Young oil palms appear to perform best at soil moisture contents between

It may be necessary to fine tune the formulas to estimate leaf area for each variety in a non-destructive way (Taylor et al. 2008). This is a clearly useful parameter that reflects the physiological status of the plant.

Sensitive characteristics for differentiating genotypes

The physiological response and growth of young palms under the soil and environmental conditions studied in Tumaco agree with those observed in other regions: ψ_h (India, Costa Rica), *Fn* (Malaysia, Indonesia, Nigeria), *T* (India, Malaysia), *WUE* (Malaysia), vegetative growth (Costa Rica, Indonesia, Malaysia) and biomass content (Malaysia). However, the maximum *Fn* value found in this study was lower than that obtained in Southeast Asia (Malaysia and Indonesia).

The most selective physiological variables (multivariate analyses) for differentiating the behavior of young oil palm genotypes with respect to the availability of water in the soil were net photosynthesis, leaf water potential (ψ_h) and transpiration rate. For vegetative growth, biomass of the petiole base, leaf area per plant and rachis biomass stand out. The use of these particular variables facilitates the selection process (Martínez et al. 1999, Brito et al. 2006).

45 and 40% (ψ_s -0.042 MPa and -0.250 MPa) in at least the first 40 cm of depth, which corresponds to the field capacity for this species with respect to soil moisture.

The Tanzania x Ekona and Bamenda x Ekona varieties showed apparent better adaptation of their photosynthetic activity to permanent soil moisture conditions with ψ_s below -0.25 MPa in silty clay loam soil, which is more prone to saturation due to its physical characteristics.

⁵ Criteria: correlation coefficient > 80 (0.80); (*): $p < 0.05$, (**): $p < 0.01$.

These types of genetic materials would perform better under moderate water deficit and possibly excess water conditions.

The Tumaco region has climate conditions that could have significant negative effects on productivity and favor some phytosanitary problems. Apart from the occurrence of occasional periods (El Niño/La Niña phenomena) of strong water deficit, whose effects are aggravated in certain soils with low moisture retention capacity; the region has photosynthetically active radiation

and a water vapor pressure deficit in the air that are considered limiting for oil palm photosynthetic activity. Nevertheless, the high concentration of CO₂ in the atmosphere during the day is highly favorable to the photosynthetic activity of species such as oil palm.

Finally, several physiological and vegetative growth parameters were identified that are associated with a greater tolerance of changing water availability conditions in young palms, which would facilitate the early selection of water stress-tolerant genotypes.

Literature

- Alvarado A., Sterling F. 2005. Stress tolerant varieties. ASD Oil Palm Papers, 28: 5-20.
- Bailey-Serres J., Voesenek L. 2008. Flooding stress: acclimations and genetic diversity. *Ann. Rev. Plant Biol.* 59:313-339.
- Bastidas P., Reyes C., Peña R. 2005-2006. Palma de aceite ténera: alternativa nacional. *Revista Innovación & Cambio Tecnológico, Corpoica*, 4(2 y 3): 47-50.
- Breure K. 2003. The search for yield in oil palm: basic principles. In: Fairhurst T. and Hardter R. (Eds.). *Oil palm management for large and sustainable yields*. PPI. Oxford. p. 59-98.
- Brito O., Méndez-Natera J., Barrios R. 2006. Caracterización de variables de crecimiento de 17 progenies de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el estado Monagas, Venezuela. *Revista UDO Agrícola*, 6(1): 33-40.
- Bulgarelli J., Chinchilla C., Richardson D., Salas A. 1993. Crecimiento en vivero de los materiales Deli x AVROS, Deli x Calabar y Deli x Ekona. Curvas de referencia. ASD de Costa Rica, programa de Investigación en Palma Aceitera. 37 p.
- Cadena M., Devis M., Málikov I., Ortiz G., Pabón C. 2004. El Niño y la Niña. Eventos ENOS y su relación con el clima y la producción de palma de aceite. *Palmas*, 25(4): 46-62.
- Centro Control Contaminación del Pacífico. 2004. Impacto de los eventos ENOS en la producción de palma de aceite en Tumaco. Proyecto de investigación CCCP-COLCIENCIAS. Dirección General Marítima, Armada Nacional, Colombia. Tumaco. 70p.
- Chinchilla C. 2008. The many faces of spear rots in oil palm: the need for an integrated management approach. ASD Oil Palm Papers, 32: 1-25.
- Chinchilla C., Alvarado A., Albertazzi H., Torres R. 2007. Tolerancia y resistencia a las pudriciones del cogollo en fuentes de diferente origen de *Elaeis guineensis*. *Revista Palmas*, 28(1): 273-284.
- Corley R., Tinker P. 2003. *The oil palm*. Oxford Blackwell Science, Blackwell Publishing Company. 562 p.
- Corley R., Breure C. 1981. *Measurements in oil palm experiments (Internal report)*. London, Unilever Plantation Group. 35 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. Económico. 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 2005-2009*. 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 Int. Palm Oil Con. Emerging technologies and opportunities in the next millennium*. PORIM. p. 64-86.
- Forsythe E. 1997. Las condiciones físicas, la producción agrícola y la calidad del suelo. *Agronomía Costarricense*, 21(1): 35-47.

- Gomes F., Prado C. 2007. Ecophysiology of coconut palm under water stress. *Braz. J. Plant Physiol.* 19(4): 377-391.
- Hanif M. 2006. Gas exchange of excised oil palm (*Elaeis guineensis*) fronds. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5(1): 9-13.
- Henson I. 1993. Photosynthesis, dry matter production and yield of oil palm under light-limiting conditions. *PORIM Intl. Palm Oil Congress. Update and Vision (Agricuture)*. pp. 525-541
- Henson I., Noor M., Haniff M., Yahya Z., Mustakim S. 2005. Stress development and its detection in young oil palms in north Kedah, Malaysia. *Journal of Oil Palm Research*, 17: 11-26.
- Holdridge L. 1967. Life zone ecology. Costa Rica, Tropical Science Center. 206 p.
- Ibrahim M., Jaafar H., Hann M., Yusop M. 2010. Changes in growth and photosynthetic patterns of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings exposed to short-term CO₂ enrichment in a closed top chamber. *Acta Physiol Plant*, 32:305–313
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2009. Estación Granja El Mira, Tumaco, Colombia. 10 p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Nariño. Bogotá. 1017 p.
- Jaafar H., Ibrahim M. 2012. Photosynthesis and quantum yield of oil palm seedlings to elevated CO₂. *Advances in Photosynthesis*. Najafpour M. (Ed.). <http://www.intechopen.com/books/advances-in-photosynthesis-fundamental-aspects/photosynthesis-and-quantum-yield-responses-of-oil-palm-to-elevated-carbon-dioxide> Consulted April 27, 2012.
- Kallarackal J., Jeyakumar P., Jacob G. 2004. Water use of irrigated oil palm at three different arid locations in peninsular India. *Journal of Oil Palm Research*, 16(1): 45-53. Internet 19/9/09.
- Lamade E., Setiyo I., Girard S., Ghashghaie J. 2009. Changes in 13C/12C of oil palm leaves to understand carbon use during their passage from heterotrophy to autotrophy. *Rapid Commun. Mass Spectrum*. 23: 2586-2596. Consulted June 2, 2010. www.interscience.wiley.com
- Lee C., Niga S., Romzi I., Ismail H. 2005. Early growth and yield performance of irrigated and no-irrigated oil palms planted on undulating and terraced areas in inland peninsular Malaysia. *Proc. Agric., Biotech. and Sustainability Conf. PIPOC 2005. MPOB Intl. Palm Oil Congress. Malaysia*. 267-284 p.
- López F. 2000. Relaciones hídricas en el continuo agua-suelo-planta-atmósfera. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Cali, Feriva. 88 p.
- 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. Revista Palmas*, 20(2): 9-21
- Morales V. 1972. Informe del reconocimiento detallado de los suelos de la Estación Experimental Agropecuaria El Mira, municipio de Tumaco (Nariño). Instituto Colombiano Agropecuario ICA, Programa Nacional de suelos. Bogotá. 205 p.
- Mite F., Carrillo M., Espinosa J. 1999. Influencia de la fertilización y el riego sobre el desarrollo, nutrición y rendimiento de la palma africana en Ecuador. *Informaciones agronómicas. Instituto de la potasa y el fósforo INPOFOS. Oficina para América Latina, Quito*. No 36 julio. 16 p.
- Noor M., Ismail M., Harun M., Mahmood M. 2005. Leaf study and gas exchange of commercial DxP and PS.1 oil palm seedlings. *Proc. Agric. Botech. and Sustainability Conf. PIPOC 2005. MPOB International Palm Oil Congress. Selangor, Malaysia*. p. 833-837.
- Noor M., Harun M. 2007. Technique for determining water use efficiency (*WUE*) in oil palm. *MPOB Information Series 368*. Internet 19/9/09.
- Reyes C., Rodríguez H., Peña R., Bastidas P. 2008. Crecimiento en vivero de materiales comerciales de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Tumaco, Colombia. *Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 9(2):12-18.
- Reyes C., Rodríguez N., Peña E., Bastidas S., Ibarra N. 2009. Crecimiento de cuatro genotipos de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en dos tipos de suelo. I. Vivero. *Memorias Segundo Seminario “Experiencias en la inversión en ciencia y tecnología para el sector agropecuario colombiano”*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, October 2009.

- Reyes C., Riaño N., Chinchilla C., Ibarra N. 2013. 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. ASD Oil Palm Papers, 40 (in press)
- Rodríguez W., Leihner D. 2006. Análisis de crecimiento vegetal. Fisiología de la producción de cultivos tropicales. San José, Editorial Universidad de Costa Rica, 37 p.
- Shibles R., Villalobos E. 2001. Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Procesos fisiológicos básicos. Fascículo I. San José, Editorial Universidad de Costa Rica. p. 14-51.
- Sterling F. 1993. Modelo de selección y mejoramiento de PIPA/ASD. Objetivos y necesidades del palmicultor del futuro. Revista Palmas, 14 (número especial): 26-39.
- 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.
- Taylor M., Chinchilla C., Rodríguez W. 2008. Leaf architecture and estimates of leaf area and leaf dry weight in young compact oil palm clones (*Elaeis guineensis* Jacq.). ASD Oil Palm Papers, 32: 27-47.
- Umaña C., Chinchilla C., Richardson D. 1990. Material de desarrollo avanzado en viveros de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.). II. Condiciones del sustrato. Turrialba 40(4): 440-451.
- Villalobos E., Chinchilla C., Umaña C., León H. 1990. Déficit hídrico en palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Costa Rica. Irrigación y fertilización con potasio. Turrialba, 40(4): 421-427.
- Villalobos E. 1995. Observaciones de las relaciones hídricas en palmas sin síntomas y enfermas con "podredumbre de la flecha", en condiciones de exceso de agua en el suelo. Informe Técnico. Universidad de Costa Rica. San José de Costa Rica. 7 p.
- Villalobos E. 2001. Absorción, transporte y balance hídrico en la planta. Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Procesos fisiológicos básicos. Fascículo I. San José, Editorial Universidad de Costa Rica. p. 120-157.
- Wescor 2006. PST-55(-SF) and PCT-55(-SF) soil hygrometer/psychrometer. Instructions for use with Wescor water potential systems. Document number: Man / PST-55 and PCT-55. Wescor environmental products division. Logan, UT, USA. 3P. Consulted January 30, 2006. Available at www.wescor.com.
- 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. Consulted January 30, 2006. Available at www.wescor.com.
- Yusof B., Chan K. 2004. Regreso a las cosas básicas: producción sostenible de alto rendimiento en palma de aceite. Palmas, 25(1): 77-92. Translated by Fedepalma. Taken from: Oil Palm Bulletin (46):1-14.

Respuesta fisiológica de la palma aceitera joven (*Elaeis guineensis* Jacq.) a una oferta estable de agua en condiciones de invernadero

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

Resumen

Se siguió el comportamiento fisiológico de palmas (*Elaeis guineensis*) de ocho meses de edad de cuatro variedades (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS y Deli x Yangambi), que recibieron una oferta estable de agua en dos suelos que contrastan en su capacidad de retención de humedad (franco arcillo limoso y arenoso franco); los cuales son usados normalmente para el cultivo de la palma aceitera en la región de Tumaco en Colombia. Las plantas fueron sembradas en potes distribuidos en un diseño completamente al azar, con arreglo factorial (2 suelos, 4 tratamientos, 4 genotipos y 4 repeticiones). Los tratamientos consistieron en mantener el agua del suelo cerca de 45%, 40%, 35% o 30% de humedad volumétrica. Se evaluó el potencial hídrico de la hoja (ψ_h), el intercambio de gases y el desarrollo vegetativo de las palmas. La variedad Tan. x Eko. mostró mejor adaptación del ψ_h a cambios en la humedad del suelo y mantuvo mayores valores de ψ_h para todos los contenidos de humedad del suelo.

El tipo de suelo afectó el comportamiento de la actividad fotosintética, el contenido de humedad del suelo y el comportamiento de las variedades. En general, la fotosíntesis neta (F_n) fue mayor en el suelo arenoso franco, particularmente en Bam. x Eko. En Tan. x Eko. el valor mayor de F_n ocurrió en el suelo franco arcillo limoso.

Los resultados evidencian la existencia de una relación entre la actividad fotosintética de las palmas y el contenido de humedad del suelo. Los mayores valores de F_n (que se asociaron con un mejor desarrollo vegetativo de las plantas) se obtuvieron con una humedad volumétrica de 45% (ψ_s -0,042 MPa) y 40% (ψ_s -0,250 MPa); por lo cual se estima que la capacidad de campo para la especie con relación a la humedad del suelo, corresponde a un ámbito de ψ_s entre -0,042 MPa y -0,250 MPa.

Se documentó una gran sensibilidad de la especie en su actividad fotosintética y crecimiento ante cambios en la humedad del suelo; aun dentro del ámbito del agua teóricamente considerado como rápidamente aprovechable por las plantas. Esta característica puede utilizarse durante la selección temprana de genotipos tolerantes a estrés hídrico, midiendo el ψ_h , la transpiración y la F_n .

¹ I. Agron. Investigador Ph. D., CORPOICA, Colombia, rreyes@corpoica.org.co

² I. Agron. Ph. D. Investigador coordinador fisiología vegetal, CENICAFE, Colombia, nestorm.riano@cafedecolombia.com

³ Consultor para ASD Costa Rica, cmlchinchilla@gmail.com

⁴ I. Agron. Investigador, CORPOICA, Colombia, lnibarra@gmail.com

Introducción

La aeración pobre del suelo causada por exceso de agua reduce la toma de agua y nutrientes por parte de las plantas. Por otro lado, el déficit hídrico afecta la conductancia estomática y disminuye el intercambio gaseoso afectando en forma negativa el crecimiento y la producción.

En general, se acepta que el agua disponible para la planta es aquella que se encuentra entre el valor de capacidad de campo en el suelo y el punto de marchitez permanente (- 0,03 MPa y - 1,5 MPa). Sin embargo, estos valores no necesariamente reflejan el comportamiento de todas las especies de plantas (ni de variedades), ya que cada una tiene mecanismos particulares de plasticidad y adaptación regulados genéticamente.

Muchas de las regiones del mundo donde se siembra palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.), presentan épocas con exceso y/o déficit de agua en los suelos. En la región de Tumaco en Colombia, el régimen de lluvias se ha alterado durante los últimos años debido a los efectos de los fenómenos oceánicos de la niña y el niño (Corley and Tinker 2003, Cadena et al. 2004). Estas condiciones climáticas extremas también se han asociado con la aparición y desarrollo de disturbios

fitosanitarios importantes como las pudriciones del cogollo, que han causado enormes pérdidas en plantaciones comerciales de palma aceitera en muchos países de América tropical (Chinchilla 2008, FEDEPALMA 2010 y 2011).

Existen numerosos estudios sobre el impacto del déficit hídrico en el crecimiento y productividad de la palma aceitera, y la manera de aliviar estos problemas mediante el riego (Villalobos et al. 1990, Foong 1999, Mite et al., 1999, Kallarackal et al., 2004, Lee et al., 2005). No obstante, en las zonas palmeras es común que el problema prevalente sea exceso de agua en el suelo, pero el impacto de esta condición sobre el crecimiento y salud de la planta no ha sido bien estudiado (Villalobos 1995, Corley and Tinker 2003 Alvarado y Sterling 2005, Chinchilla et al. 2007). Esta investigación tuvo como objetivo documentar el comportamiento fisiológico y morfológico de cuatro variedades de palma aceitera ante una oferta estable de humedad del suelo a diferentes contenidos, y determinar los valores de humedad (del suelo) que se relacionaran con valores óptimos de intercambio gaseoso, actividad fotosintética y desarrollo de la planta.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en casa de malla (invernadero) con cobertura plástica, entre diciembre de 2007 y noviembre de 2008 en la Estación Experimental El Mira, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), en Tumaco, Nariño, Colombia, a 16 msnm y con coordenadas 1°32'58" N y 78°41'21" W. La región presenta condiciones de bosque húmedo tropical (Holdridge 1967). La precipitación acumulada anual es de 3.067 mm, temperatura media promedio anual de 25,5 °C, humedad relativa promedio anual del 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 (CCCP 2004, Holdridge 1967, Morales 1972, IGAC 2004, IDEAM 2009).

Las palmas fueron sembradas en dos tipos de suelo representativos de la zona palmera de Tumaco del orden Inceptisoles, de las series Pital (PT) y Piragua (PR). El primer suelo se clasifica como *Vitrandidic eutrudept*, franco arcillo limoso, con buena retención de humedad y pobremente drenado. El segundo se clasifica como *Andic dystrudept*, arenoso franco, con baja capacidad de retención de humedad y bien drenado (IGAC 2004). De cada suelo se extrajeron muestras a cinco profundidades y se determinaron sus características físicas y las curvas de retención de humedad en ollas de presión a succiones de 0,03; 0,15; 1,0 y 1,5 MPa.

Las variedades de palma aceitera utilizadas (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS y Deli x Yangambi) han mostrado diferente comportamiento ante condiciones de estrés, incluyendo déficit hídrico y respuesta a las pudriciones del cogollo (Alvarado y Sterling 2005; Chinchilla et al. 2007).

Cada suelo fue homogeneizado por tamaño de agregado (10 mallas) y un peso similar fue usado para llenar potes plásticos de 30 cm de diámetro y 40 cm de altura con orificios en la parte inferior para drenaje. En la parte lateral de cada pote se hicieron perforaciones a 10 y 20 cm de profundidad, para instalar sensores psicrométricos (PST-55-30-SF-Wescor, Inc.), para determinar el potencial hídrico del suelo (ψ_s).

En cada pote se sembró una planta de dos meses de edad de cada una de las cuatro variedades (64 potes por suelo y 16 plantas/variedad). Las plantas permanecieron en un invernadero ordenadas en un arreglo completamente al azar. Con base en las curvas de secamiento de los suelos, determinadas en un estudio previo (Reyes et al. 2013), se definieron los tratamientos que consistieron en mantener la humedad del suelo cercana a los valores en el Cuadro 1.

Tratamiento de HV buscada	Suelo franco arcillo limoso		Suelo arenoso franco	
	Ψ_s (MPa)	HV (%)	Ψ_s (MPa)	HV (%)
45%	-0,049	47	-0,043	45
40%	-0,253	41	-0,248	39
35%	-0,345	36	-0,343	34
30%	-0,448	31	-0,441	30

La humedad volumétrica del suelo se calculó a partir de los potenciales hídricos (ψ_s , MPa) medidos a 10 y 20 cm de profundidad y las curvas de retención de humedad obtenidas en laboratorio.

Cuando las plantas cumplieron ocho meses de edad, se adicionó lentamente agua al suelo de los potes hasta saturarlos, y posteriormente se permitió un drenaje libre por 72 horas para luego pesarlos con una aproximación de un gramo. Para medir el ψ_s se utilizaron sensores psicrométricos PST-55-30-sf, unidos a un microvoltímetro Wescor HRT-33 (Wescor 2006).

Cada pote se pesó diariamente hasta que se alcanzara la humedad volumétrica requerida según el tratamiento: 45%, 40%, 35% y 30%, con su correspondiente ψ_s (MPa). Durante los siguientes 90 días, los potes se pesaron, para reponer el agua evapotranspirada, y de esta forma mantener la humedad volumétrica cercana al valor

deseado. Durante este proceso se eliminó la maleza que creció sobre los potes y no se utilizó ningún tipo de cobertura. La verificación de los tratamientos se hizo midiendo el ψ_s a 20 cm.

Adicionalmente, se midió el potencial hídrico foliar (ψ_n , MPa) y el intercambio gaseoso en los folíolos centrales de la hoja número cuatro en la filotaxia. El ψ_n se midió entre las 6:00 y 8:00 horas con la cámara L-51-SF (Wescor Inc.) unida al microvoltímetro Wescor HRT-33 (Wescor, 2006a). El intercambio de gases (fotosíntesis neta y transpiración) y las variables microclimáticas asociadas se midieron entre las 8:00 y las 17:00 horas, con intervalos de una hora, con el equipo portátil LI-6200 (Licor, Nebraska, USA) (Reyes et al. 2013). Finalmente, se determinó el déficit de presión de vapor del agua (DPV) y la concentración de CO_2 en el aire. Dado que la mayor actividad fotosintética de la palma aceitera en la región de estudio ocurre entre las 09:00 y 11:00 horas (determinado previamente mediante la curva diaria de asimilación de CO_2), se puso particular atención durante este periodo.

Luego de 90 días de iniciados los tratamientos, se midió la altura de las plantas (del nivel del suelo al punto de inicio de los folíolos rudimentarios en el peciolo de la hoja cuatro), el número de hojas, el ancho y profundidad del peciolo (P x S) de la hoja cuatro, el área de la hoja cuatro y el número de hojas flecha (hojas sin abrir). Posteriormente se sacaron las plantas de cada pote, se les lavó las raíces con agua para medir el diámetro de la base (bulbo) y se determinó el número de raíces primarias. Finalmente se determinó el peso fresco y seco (en una estufa a 70 °C) de las plantas. Las mediciones del crecimiento vegetativo y otras se hicieron siguiendo los criterios de Corley y Breure 1981, Henson et al., 2005, Reyes et al. 2008, Taylor et al. 2008.

Se empleó un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial: dos suelos x cuatro tratamientos x cuatro variedades x cuatro repeticiones, cuya unidad experimental fue el pote con su planta. Los datos fueron sometidos a estadística descriptiva, análisis de varianza y análisis multivariado por componentes principales, y se obtuvieron las funciones matemático-estadísticas que mejor describieron 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

Condiciones dentro del invernadero

La mayoría de los valores de radiación fotosintéticamente activa (RFA) fue menor a $650 \mu\text{mol fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$, lo cual es inferior a lo normalmente encontrado en otras zonas, donde los valores de oferta energética pueden llegar a $2.000 \mu\text{mol fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$ o más. Se estima que la palma aceitera se desempeña bien en zonas con una oferta lumínica entre 400 y $1.150 \mu\text{mol fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Henson 1993, Corley y Tinker 2003, Noor et al. 2005).

La temperatura foliar diaria y del aire varió entre 26°C y 37°C (al medio día). El valor máximo indicado no se considera limitante para la fotosíntesis de la palma aceitera (Dufrene y Saugier 1993, Corley y Tinker 2003). El déficit de presión de vapor de agua en el aire (DPV) fue normalmente mayor a 1,7 kPa, lo que constituye una limitación a la actividad fotosintética (ámbito adecuado: 0,5-1,7 kPa, Dufrene y Saugier 1993, Henson et al. 2005). La humedad relativa promedio fue de 60%, con valores máximos alrededor de 80% en la mañana y al final de la tarde.

La concentración atmosférica de CO_2 estuvo frecuentemente por encima de 420 ppm, lo cual es superior a la global promedio (Manua Loa, Hawaii, agosto 2011: 390.02 ppm). Esta alta oferta de CO_2 puede aminorar en parte los efectos de bajos valores de RFA y DPV en una planta tipo C_3 como la palma aceitera, donde altos valores internos de CO_2 ocasionan una disminución de la fotorrespiración e incremento del carbono asimilado (la enzima rubisco funciona más como carboxilasa y se reduce proporcionalmente su actividad como oxigenasa). Adicionalmente, el incremento del CO_2 en la atmósfera aumenta la eficiencia en el uso de la radiación solar, reduce la conductancia estomática y la transpiración; con el aumento consecuente en la eficiencia del uso del agua por las plantas ($EUA = Fn/T$) (Losch and Schulze 1995, López 2000, Shibles y Villalobos 2001). También se observó que un incremento de la concentración del CO_2 en la atmósfera (400, 800, 1.200 ppm) aumentó la tasa de fotosíntesis y el rendimiento cuántico de la asimilación de carbono (número de moléculas de CO_2 fijadas por fotón absorbido), redujo la tasa de respiración y del punto de compensación de luz, y aumentó de la eficiencia en el uso del agua (Jaafar y Ibrahim 2012 Ibrahim et al. 2010).

Potencial hídrico de la hoja (ψ_h)

ψ_h varió en función de la interacción entre suelos, su contenido de humedad y los genotipos ($P < 0,05$). En el suelo franco arcillo limoso (FAL), las variedades Bamenda x Ekona ($\psi_h -0,17 \text{ MPa}$) y Deli x AVROS ($\psi_h -0,14 \text{ MPa}$) mostraron mejor hidratación que en el suelo arenoso franco (AF) ($p < 0,01$). Caso contrario, Deli x Yangambi ($\psi_h -0,13 \text{ MPa}$) y Tanzania x Ekona ($\psi_h -0,18 \text{ MPa}$) presentaron mayor hidratación foliar en este último suelo (Fig. 1A). ψ_h disminuyó en todas las variedades con la reducción de la humedad volumétrica (HV,%) en ambos suelos. Los mayores valores de ψ_h en ambos suelos se midieron cuando la HV fue de 45% (FAL: $-0,11 \text{ MPa}$; AF: $-0,15 \text{ MPa}$) y 40% (FAL: $-0,16 \text{ MPa}$; AF: $-0,18 \text{ MPa}$) (Fig. 1B).

Deli x AVROS (DxA) y Tanzania x Ekona (TxE) se comportaron de forma similar con la disminución del ψ_h en los dos suelos, pero Deli x Yangambi (DxY) presentó la mayor disminución del ψ_h en el suelo FAL ($\psi_h -0,15$ a $-0,40 \text{ MPa}$) y Bamenda x Ekona (BxE) en el suelo AF ($\psi_h -0,15$ a $-0,35 \text{ MPa}$) (Figs. 1C y 1D). Lo anterior indica que DxA y TxE presentaron una mejor plasticidad del ψ_h en cuanto a su adaptación a cambios en la HV del suelo.

Los valores de ψ_h ($-0,01$ a $-0,45 \text{ MPa}$) en los dos suelos para las plantas de todos los genotipos, se encuentran dentro del ámbito determinado para palma aceitera en otros estudios (Villalobos 2001, Kallarackal et al. 2004).

Intercambio gaseoso

Los valores más comunes de fotosíntesis neta (F_n) se situaron entre 2,5 y $15,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$; lo cual es normal para la especie ($3,0 - 27,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (Lamade et al., 2009, Noor et al. 2005). Los máximos valores (10:00-11:00 horas; $P < 0,05$) ocurrieron en las plantas sembradas en el suelo arenoso franco, excepto cuando la humedad volumétrica de este fue de 30% (Fig. 2A). El efecto se debió posiblemente a una mejor aeración en este sustrato con humedades por encima de 35%. Para el suelo franco arcillo limoso, 30% de humedad fue aparentemente un valor suficiente.

El contenido de humedad del suelo tuvo un efecto notable sobre la F_n , lo que indica la gran sensibilidad de la actividad fotosintética de la palma aceitera ante la disminución del contenido de agua en el suelo, aun dentro del ámbito del agua rápidamente utilizable por las plantas (ψ_s entre -0,03 MPa y -0,50 MPa). Los máximos valores de F_n se obtuvieron cuando la humedad volumétrica estuvo entre 45% (ψ_s -0,042 MPa) y 40% (ψ_s -0,250 MPa); lo cual ocurrió independientemente del tipo de suelo y las variedades. Lo contrario fue observado con humedades inferiores a 40% (35%: ψ_s -0,343 MPa; 30%: ψ_s -0,441 MPa).

Tanzania x Ekona presentó los mayores valores de F_n (3.0-4,6 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en el suelo FAL, independiente del contenido de humedad. Esta variedad y Bamenda x Ekona x Ekona no presentaron una disminución apreciable de la F_n al reducirse el contenido de humedad del suelo (Fig. 2B). En el suelo AF, los mayores valores de F_n se observaron en Bamenda x Ekona (3,2-5,5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y Tanzania x Ekona (3,4-5,1 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), para la mayoría de contenidos de humedad del suelo, excepto para el valor de 30% (Fig. 2C). La respuesta observada se interpreta como indicación de una mayor tolerancia fisiológica al déficit hídrico de las variedades referidas, de lo cual también ya existía evidencia (Reyes et al. 2013).

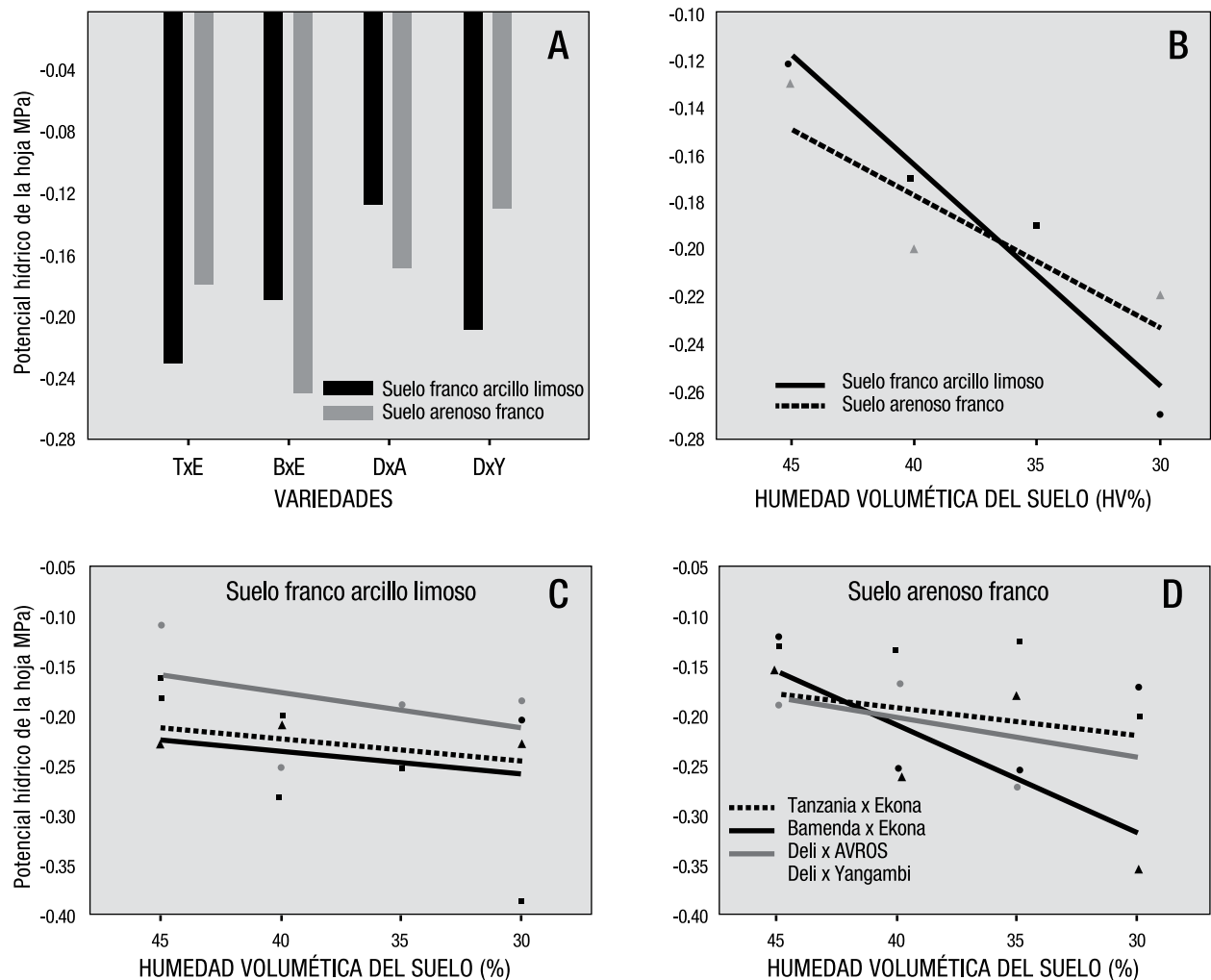


Fig. 1. Interacciones para el potencial hídrico de la hoja en cuatro variedades de palma aceitera (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS y Deli x Yangambi) en función del tiempo, en dos suelos (franco arcillo limoso y arenoso franco). Las palmas se sembraron en pots con el suelo mantenido a diferentes contenidos de humedad volumétrica. Tumaco, Colombia.

La magnitud de la actividad fotosintética en estas palmas jóvenes se consideró baja, con predominancia de valores entre 2,5 y 9,2 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, comparados con valores en el ámbito de 7,9 - 9,5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ encontrados en otros estudios (Noor et al., 2005, Noor y Harun 2007). Esto es probablemente el resultado de la baja radiación fotosintéticamente activa (alta proporción de valores de RFA por debajo de 650 $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y de un alto déficit de presión de vapor del agua en el aire ($\text{DPV} > 1,7 \text{ kPa}$). En la palma aceitera, la máxima actividad fotosintética se asocia con valores de RFA entre 400 y 1.150 $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Henson 1993, Corley y Tinker 2003, Noor et al. 2005, Hanif 2006); y con valores de DPV entre 0,5 y 1,7 kPa (Dufrene y Saugier 1993, Henson et al. 2005).

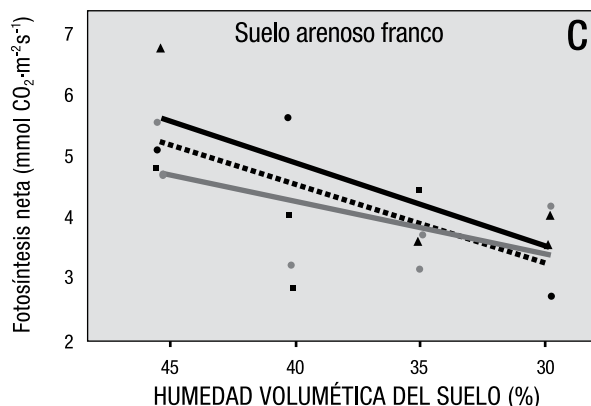
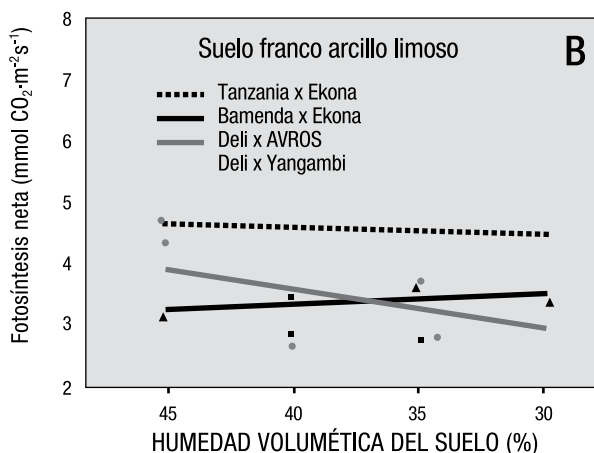
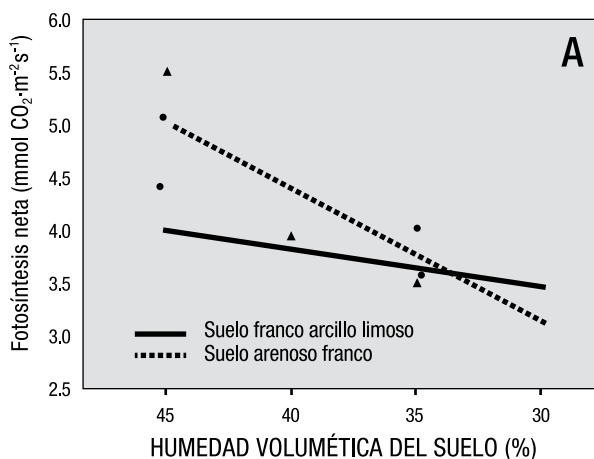


Fig. 2. Interacciones para la fotosíntesis neta (10:00 a 11:00 horas) en plantas de cuatro variedades de palma aceitera (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS y Deli x Yangambi) sembradas en dos tipos de suelo (franco arcillo limoso y arenoso franco) mantenidos a diferentes contenidos de humedad volumétrica. Tumaco, Colombia.

Es evidente que para cultivar la palma aceitera con éxito en los tipos de suelo estudiados en la región de Tumaco, se debe mantener la humedad del suelo en un ámbito entre $\psi_s -0,042 \text{ MPa}$ y $\psi_s -0,250 \text{ MPa}$, lo cual permite obtener una eficiencia fotosintética óptima. Lo anterior implica realizar las labores agrícolas necesarias para mejorar la aeración del suelo, cuando esta sea limitada por alta precipitación pluvial.

Transpiración (T)

La actividad transpiratoria diaria (8:00-17:00 horas) y en días diferentes (10:00-11:00 horas) presentó en todas las variedades un comportamiento y magnitud similares en ambos suelos con todos los contenidos de humedad. Los valores de T oscilaron entre 1,0 y 6,5 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, lo cual concuerda con valores dentro del ámbito observado para palma aceitera (Foong 1999, Suresh and Nagamani 2006). La fotosíntesis neta correlacionó con la concentración intercelular de CO_2 (0,80*) y con la tasa de transpiración (0,96**), lo cual es esperable.

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

El comportamiento y la magnitud de la EUA fue similar en todas las variedades y aparentemente tampoco fueron afectadas por el tipo de suelo, ni su humedad. El ámbito de valores de la EUA osciló entre 0,23 y 6,34 $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$, lo que concuerda con lo observado en otros estudios en palma aceitera (Kallarackal et al. 2004, Noor et al. 2005). Los resultados reflejan el comportamiento de la Fn y la T , ambos componentes de

la *EUA*, e ilustran la importancia de la actividad asimiladora de CO_2 para la determinación de la *EUA* de la palma aceitera.

DESARROLLO VEGETATIVO

Crecimiento

El contenido de humedad del suelo afectó en forma significativa el crecimiento vegetativo de las palmas. El desarrollo radical (número de raíces primarias) y aéreo (altura de la planta, diámetro de la base, sección transversal del peciolo, área foliar, número de hojas) fue mejor con un contenido de humedad del suelo de 45%. El diámetro de la base (bulbo) es una característica particularmente importante en palmas de vivero, puesto que es un buen indicador del vigor de la planta, su capacidad de almacenar reservas y acomodar una mayor masa radical que permite un mejor establecimiento de las plantas luego del trasplante al campo. De manera similar, el valor PxS (sección transversal del peciolo de la hoja) está ligado al vigor general de la planta (Corley y Breure 1981; Corley y Tinker 2003).

El crecimiento aéreo también se vio favorecido en el suelo arenoso franco, debido a su mejor aeración, lo cual también ha sido observado en estudios anteriores en esta y otras regiones (Umaña et al. 1990, Bulgarelli et al. 1993, Corley y Tinker 2003, Reyes et al. 2009). Se observó una interacción ($P=0,01$) para el largo del raquis (hoja cuatro), entre el tipo de suelo y la variedad.

Deli x AVROS, Tanzania x Ekona y Bamenda x Ekona mostraron una menor longitud del raquis en el suelo franco arcillo limoso (Fig. 3). Deli x Yangambi presentó en ambos suelos el raquis más corto, lo cual es inherente a esta y otras variedades. Esta característica permite la selección de genotipos que pueden plantarse a mayores densidades (Bastidas et al. 2005, 2006).

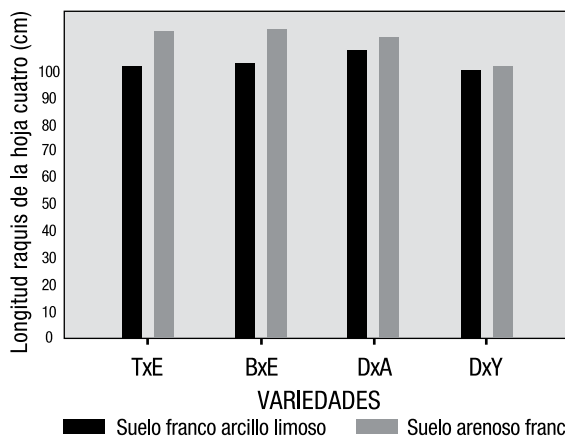


Fig. 3. Longitud del raquis (hoja cuatro) en plantas de cuatro variedades de palma aceitera (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS y Deli x Yangambi), sembradas en dos tipos de suelo, cada uno con diferentes contenidos de humedad. Tumaco, Colombia

Biomasa

La acumulación de biomasa varió en función del tipo de suelo y su humedad; un contenido de 45% ($\psi_s -0,042$ MPa) se asoció con una mayor acumulación de biomasa en el suelo arenoso franco (1.950 g/palma vs. 1.567 en el suelo franco arcillo limoso) (Fig. 4).

Debido a que el suelo FAL tiene mayor capacidad de retención de humedad y menos espacio poroso, éste se satura más fácilmente que el suelo arenoso franco, aún en condiciones de similar ψ_s , afectando negativamente el sistema radical (menor disponibilidad de oxígeno) y menor movimiento de agua y nutrientes en el continuo hídrico suelo/planta/atmósfera, y afectando de esta forma el intercambio gaseoso y el crecimiento (Umaña et al. 1990; Bulgarelli et al. 1993, Forsythe 1997, Villalobos 2001, Reyes et al. 2009).

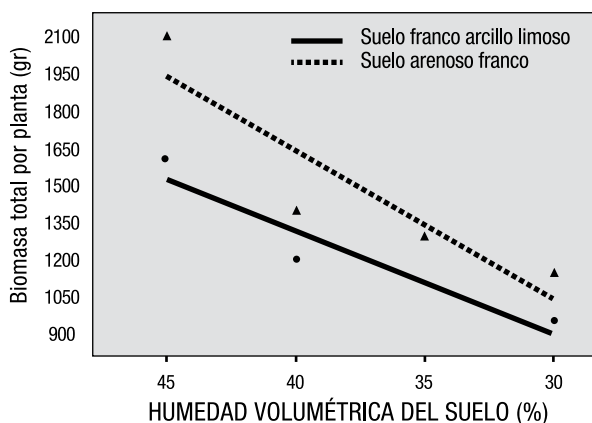


Fig. 4. Biomasa total de plantas de cuatro variedades de palma aceitera (Tanzania x Ekona, Bamenda x Ekona, Deli x AVROS, Deli x Yangambi) sembradas en dos suelos (franco arcillo limoso y arenoso franco) cada uno con diferentes contenidos de humedad volumétrica. Tumaco, Colombia

La humedad del suelo afectó la distribución y coeficientes de biomasa de las palmas y el mejor crecimiento se produjo con 45% de humedad ($P < 0,05$); razones más altas entre biomasa de las raíces y biomasa de la planta, biomasa de la parte aérea y la biomasa de la planta y la biomasa de la parte aérea entre la biomasa de las raíces (Cuadro 2). Los valores de estas razones concuerdan con lo encontrado en otros estudios en plantas de vivero (Sterling 1993, Reyes et al. 2008).

La biomasa de la parte aérea se redujo y aumentó la radical al pasar de una humedad del suelo de 45% (ψ_s -0,042 MPa) a 30% (ψ_s -0,441 MPa) (Cuadro 2). En estas condiciones, la planta debe invertir más energía para el desarrollo de raíces, además de que la vida media de estas se reduce cuando la aeración del suelo es reducida. Aunque la razón parte aérea/radical tiene gran influencia genética, esta puede ser modificada por factores como el estrés hídrico (Rodríguez y Leihner 2006).

Las respuestas observadas indican que la mayor actividad fotosintética de las palmas jóvenes se asocia con un mejor desarrollo vegetativo y que esto se obtiene cuando la humedad del suelo se mantiene entre 45% (ψ_s -0,042 MPa) y 40% (ψ_s -0,250 MPa). Se estima que en la región de estudio (Tumaco), la humedad del suelo (ψ_s) requerida para un buen desarrollo de palmas se debe mantener entre -0,042 MPa y -0,250 MPa en los primeros 40 cm de profundidad del sustrato.

Cuadro 2. Proporciones y razones de biomasa por planta en cuatro variedades de palma aceitera en vivero, después de 90 días de desarrollo en dos suelos (franco arcillo limoso y arenoso franco) con diferentes contenidos de humedad. Tumaco, Colombia

Humedad volumétrica del suelo	Proporción de biomasa (%)		Razón de biomasa
	Raíces/planta	Parte aérea/planta	Parte aérea/raíces
45%	21.17 a	78.83 a	4.05 a
40%	24.29 b	75.71 b	3.23 b
35%	24.86 b	75.13 b	3.22 b
30%	27.03 b	72.97 b	2.86 b

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

El área foliar por planta se relacionó significativamente con la biomasa total de raíces (0,83**) ⁵, de la base peciolar (0,80**), del peciolo (0,83**), de los foliolos (0,90**) y la biomasa total de la planta (0,82**); aunque posiblemente se requiere afinar las fórmulas para estimar en forma no destructiva el área foliar de cada variedad (Taylor et al. 2008). Este es un parámetro claramente útil que refleja el estado fisiológico de la planta.

Características sensibles para la diferenciación de genotipos

La respuesta fisiológica y de crecimiento de palmas jóvenes en las condiciones de suelo y ambiente estudiados en Tumaco, concuerda con lo observado en otras regiones: ψ_h (India, Costa Rica), F_n (Malasia, Indonesia, Nigeria), T (India, Malasia), EUA (Malasia), crecimiento vegetativo (Costa Rica, Indonesia, Malasia) y contenido de biomasa (Malasia). No obstante, el valor máximo de F_n encontrado en este estudio fue inferior al obtenido en el sureste Asiático (Malasia e Indonesia).

Las variables fisiológicas más discriminantes (análisis multivariado) para diferenciar el comportamiento de los genotipos de palma aceitera joven con respecto a la disponibilidad de agua en el suelo fueron la fotosíntesis neta, el potencial hídrico de la hoja (ψ_h) y la tasa de transpiración. En el crecimiento vegetativo destacan la biomasa de la base peciolar, el área foliar por planta y la biomasa del raquis. El uso de estas variables particulares facilita el proceso de selección (Martínez et al. 1999, Brito et al. 2006).

⁵ Criterios: coeficiente de correlación > 80 (0,80); (*) $p < 0,05$, (**) $p < 0,01$.

Conclusiones y Recomendaciones

Se encontró que la actividad fotosintética y el desarrollo vegetativo de la palma aceitera joven son sensibles a la disminución del contenido de humedad del suelo, aún dentro del ámbito de agua considerado como rápidamente utilizable por las plantas (ψ_s -0,03 MPa y -0,50 MPa). Este comportamiento debe ser considerado durante la elección del suelo para el desarrollo de plantas de vivero y también para la selección de tierras para el establecimiento de plantaciones y posterior manejo de las características físicas del suelo. El mejor desempeño de palmas aceiteras jóvenes parece ocurrir con un contenido de humedad del suelo entre 45 y 40 % (ψ_s -0,042 MPa y -0,250 MPa) en al menos los primeros 40 cm de profundidad, lo cual correspondería a la capacidad de campo para esta especie con relación a la humedad del suelo.

Las variedades Tanzania x Ekona y Bamenda x Ekona mostraron una aparente mejor adaptación de su actividad fotosintética a condiciones permanentes de humedad del suelo inferiores a un ψ_s de -0,25 MPa en el suelo franco arcillo limoso, que es más propenso a la saturación debido a sus características físicas. Este tipo de materiales genéticos tendrían un mejor desempeño

en condiciones de déficit hídrico moderado, y posiblemente de exceso de agua.

La región de Tumaco presenta condiciones climáticas que pueden afectar en forma negativa la productividad y favorecer algunos problemas fitosanitarios. Aparte de la presencia de periodos ocasionales (fenómenos del Niño/La Niña) de fuerte déficit hídrico, cuyos efectos se agravan en ciertos suelos de baja capacidad de retención de humedad; la región presenta una radiación fotosintéticamente activa y un déficit de presión de vapor del agua en el aire, que se consideran limitantes para la actividad fotosintética de la palma aceitera. No obstante, la alta concentración de CO₂ en la atmosfera durante el día es muy favorable para la actividad fotosintética de una especie como la palma aceitera.

Finalmente se identificaron varios parámetros fisiológicos y de crecimiento vegetativo que se asocian, en palmas jóvenes, con una mayor tolerancia a condiciones cambiantes de disponibilidad de agua, lo cual facilitaría la selección temprana de genotipos tolerantes a estrés hídrico.

Literatura

- Alvarado A., Sterling F. 2005. Stress tolerant varieties. ASD Oil Palm Papers, 28: 5-20.
- Bailey-Serres J., Voesenek L. 2008. Flooding stress: acclimations and genetic diversity. Ann. Rev. Plant Biol. 59:313-339.
- Bastidas P., Reyes C., Peña R. 2005-2006. Palma de aceite ténera: alternativa nacional. Revista Innovación & Cambio Tecnológico, Corpoica, 4(2 y 3): 47-50.
- Breure K. 2003. The search for yield in oil palm: basic principles. In: Fairhust T. and Hardter R. (Eds.). Oil palm management for large and sustainable yields. PPI. Oxford. p. 59-98.
- Brito O., Méndez-Natera J., Barrios R. 2006. Caracterización de variables de crecimiento de 17 progenies de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el estado Monagas, Venezuela. Revista UDO Agrícola, 6(1): 33-40.
- Bulgarelli J., Chinchilla C., Richardson D., Salas A. 1993. Crecimiento en vivero de los materiales Deli x AVROS, Deli x Calabar y Deli x Ekona. Curvas de referencia. ASD de Costa Rica, programa de Investigación en Palma Aceitera. 37 p.
- Cadena M., Devis M., Málikov I., Ortiz G., Pabón C. 2004. El Niño y la Niña. Eventos ENOS y su relación con el clima y la producción de palma de aceite. Palmas, 25(4): 46-62.
- Centro Control Contaminación del Pacífico. 2004. Impacto de los eventos ENOS en la producción de palma de aceite en Tumaco. Proyecto de investigación CCCP-COLCIENCIAS. Dirección General Marítima, Armada Nacional, Colombia. Tumaco. 70p.
- Chinchilla C. 2008. The many faces of spear rots in oil palm: the need for an integrated management approach. ASD Oil Palm Papers, 32: 1-25.

- Chinchilla C., Alvarado A., Albertazzi H., Torres R. 2007. Tolerancia y resistencia a las pudriciones del cogollo en fuentes de diferente origen de *Elaeis guineensis*. Revista Palmas, 28(1): 273-284.
- Corley R., Tinker P. 2003. The oil palm. Oxford Blackwell Science, Blackwell Publishing Company. 562 p.
- Corley R., Breure C. 1981. Measurements in oil palm experiments (Internal report). London, Unilever Plantation Group. 35 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. Económico. 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 2005-2009. 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 Int. Palm Oil Con. Emerging technologies and opportunities in the next millennium. PORIM. p. 64-86.
- Forsythe E. 1997. Las condiciones físicas, la producción agrícola y la calidad del suelo. *Agronomía Costarricense*, 21(1): 35-47.
- Gomes F., Prado C. 2007. Ecophysiology of coconut palm under water stress. *Braz. J. Plant Physiol.* 19(4): 377-391.
- Hanif M. 2006. Gas exchange of excised oil palm (*Elaeis guineensis*) fronds. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5(1): 9-13.
- Henson I. 1993. Photosynthesis, dry matter production and yield of oil palm under light-limiting conditions. PORIM Intl. Palm Oil Congress. Update and Vision (Agriculture). pp. 525-541
- Henson I., Noor M., Haniff M., Yahya Z., Mustakim S. 2005. Stress development and its detection in young oil palms in north Kedah, Malaysia. *Journal of Oil Palm Research*, 17: 11-26.
- Holdridge L. 1967. Life zone ecology. Costa Rica, Tropical Science Center. 206 p.
- Ibrahim M., Jaafar H., Hann M., Yusop M. 2010. Changes in growth and photosynthetic patterns of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings exposed to short-term CO₂ enrichment in a closed top chamber. *Acta Physiol Plant*, 32:305-313
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2009. Estación Granja El Mira, Tumaco, Colombia. 10 p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Nariño. Bogotá. 1017 p.
- Jaafar H., Ibrahim M. 2012. Photosynthesis and quantum yield of oil palm seedlings to elevated CO₂. *Advances in Photosynthesis*. Najafpour M. (Ed.). <http://www.intechopen.com/books/advances-in-photosynthesis-fundamental-aspects/photosynthesis-and-quantum-yield-responses-of-oil-palm-to-elevated-carbon-dioxide> Consulted April 27, 2012.
- Kallarackal J., Jeyakumar P., Jacob G. 2004. Water use of irrigated oil palm at three different arid locations in peninsular India. *Journal of Oil Palm Research*, 16(1): 45-53. Internet 19/9/09.
- Lamade E., Setiyo I., Girard S., Ghashghaie J. 2009. Changes in 13C/12C of oil palm leaves to understand carbon use during their passage from heterotrophy to autotrophy. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 23: 2586-2596. Consulted June 2, 2010. www.interscience.wiley.com
- Lee C., Niga S., Romzi I., Ismail H. 2005. Early growth and yield performance of irrigated and no-irrigated oil palms planted on undulating and terraced areas in inland peninsular Malaysia. Proc. Agric., Biotech. and Sustainability Conf. PIPOC 2005. MPOB Intl. Palm Oil Congress. Malaysia. 267-284 p.
- López F. 2000. Relaciones hídricas en el continuo agua-suelo-planta-atmósfera. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Cali, Feriva. 88 p.
- 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. *Revista Palmas*, 20(2): 9-21
- Morales V. 1972. Informe del reconocimiento detallado de los suelos de la Estación Experimental Agropecuaria El Mira, municipio de Tumaco (Nariño). Instituto Colombiano Agropecuario ICA, Programa Nacional de suelos. Bogotá. 205 p.

- Míte F., Carrillo M., Espinosa J. 1999. Influencia de la fertilización y el riego sobre el desarrollo, nutrición y rendimiento de la palma africana en Ecuador. Informaciones agronómicas. Instituto de la potasa y el fósforo INPOFOS. Oficina para América Latina, Quito. No 36 julio. 16 p.
- Noor M., Ismail M., Harun M., Mahmood M. 2005. Leaf study and gas exchange of commercial DxP and PS.I oil palm seedlings. Proc. Agric. Botech. and Sustainability Conf. PIPOC 2005. MPOB International Palm Oil Congress. Selangor, Malaysia. p. 833-837.
- Noor M., Harun M. 2007. Technique for determining water use efficiency (*WUE*) in oil palm. MPOB Information Series 368. Internet 19/9/09.
- Reyes C., Rodríguez H., Peña R., Bastidas P. 2008. Crecimiento en vivero de materiales comerciales de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Tumaco, Colombia. Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 9(2):12-18.
- Reyes C., Rodríguez N., Peña E., Bastidas S., Ibarra N. 2009. Crecimiento de cuatro genotipos de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en dos tipos de suelo. I. Vivero. Memorias Segundo Seminario “Experiencias en la inversión en ciencia y tecnología para el sector agropecuario colombiano”. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, October 2009.
- Reyes C., Riaño N., Chinchilla C., Ibarra N. 2013. 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. ASD Oil Palm Papers, 40 (in press)
- Rodríguez W., Leihner D. 2006. Análisis de crecimiento vegetal. Fisiología de la producción de cultivos tropicales. San José, Editorial Universidad de Costa Rica, 37 p.
- Shibles R., Villalobos E. 2001. Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Procesos fisiológicos básicos. Fascículo I. San José, Editorial Universidad de Costa Rica. p. 14-51.
- Sterling F. 1993. Modelo de selección y mejoramiento de PIPA/ASD. Objetivos y necesidades del palmicultor del futuro. Revista Palmas, 14 (número especial): 26-39.
- 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.
- Taylor M., Chinchilla C., Rodríguez W. 2008. Leaf architecture and estimates of leaf area and leaf dry weight in young compact oil palm clones (*Elaeis guineensis* Jacq.). ASD Oil Palm Papers, 32: 27-47.
- Umaña C., Chinchilla C., Richardson D. 1990. Material de desarrollo avanzado en viveros de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.). II. Condiciones del sustrato. Turrialba 40(4): 440-451.
- Villalobos E., Chinchilla C., Umaña C., León H. 1990. Déficit hídrico en palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Costa Rica. Irrigación y fertilización con potasio. Turrialba, 40(4): 421-427.
- Villalobos E. 1995. Observaciones de las relaciones hídricas en palmas sin síntomas y enfermas con “podredumbre de la flecha”, en condiciones de exceso de agua en el suelo. Informe Técnico. Universidad de Costa Rica. San José de Costa Rica. 7 p.
- Villalobos E. 2001. Absorción, transporte y balance hídrico en la planta. Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Procesos fisiológicos básicos. Fascículo I. San José, Editorial Universidad de Costa Rica. p. 120-157.
- Wescor 2006. PST-55(-SF) and PCT-55(-SF) soil hygrometer/psychrometer. Instructions for use with Wescor water potential systems. Document number: Man / PST-55 and PCT-55. Wescor environmental products division. Logan, UT, USA. 3P. Consulted January 30, 2006. Available at www.wescor.com.
- 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. Consulted January 30, 2006. Available at www.wescor.com.
- Yusof B., Chan K. 2004. Regreso a las cosas básicas: producción sostenible de alto rendimiento en palma de aceite. Palmas, 25(1): 77-92. Translated by Fedepalma. Taken from: Oil Palm Bulletin (46):1-14.

Native 'mycorrhizal' association in oil palm (*Elaeis guineensis*) in Ecuador and evaluation of colonization efficiency in nursery palms

Maldonado Lucrecia¹; Bravo Vladimir²; Morales Rocío³; Bernal Gustavo⁴

Abstract

Soil and root samples were taken in 25 oil palm plantations of Ecuador's coastal and Amazon regions, in which 57 'mycorrhizal' consortia were collected and the spore population and endophyte level or intensity of infection in the roots were determined, in 14 genetic origins that included tenera commercial crosses (*Elaeis guineensis*) OxG hybrids (*E. oleifera* x *E. guineensis*) and *E. oleifera* palms from various origins. The arbuscular mycorrhizae genera identified were *Glomus* spp., *Acaulospora* spp., *Archaeospora* spp. and *Gigaspora* spp. Intercellular and intracellular hyphae and vesicles were found in all genetic materials (*E. guineensis*, *E. oleifera*, *E. guineensis* x *E. oleifera* and compact varieties), but the apparent infestation was not the same in the different sample collection areas, since the mycorrhizal population and the degree of colonization of the roots was associated with the organic matter content in soil and rainfall in each area. No interaction was found between the effect attributable to mycorrhizal isolates, vegetative growth and the different sources of germplasm.

In a second stage of the work, several isolates were reproduced in sorghum trap plants (*Sorghum vulgare*), the four consortiums with the best spore and dry matter production characteristics in the plant were selected, and then the infective efficiency of four of them was evaluated in nursery palms of the INIAP *tenera* variety.

A particularly efficient consortium was identified in terms of its ability to colonize roots and had a beneficial effect on plants in the nursery (leaf area and phosphorus uptake), and it will be the subject of further studies.

Introduction

In Ecuador it is estimated that there are about 207,285 hectares planted with oil palm, mainly in the San Lorenzo, Occidental, Guayas and Oriental regions. In general, productivity is low due to agronomic management problems that contribute to the deterioration of the root system and inadequate crop nutrition (Bernal 2002).

A mycorrhizal association with the roots of plants enhances the uptake of various nutrients and it can improve oil palm productivity (Corley and Tinker 2003). Roots infected with mycorrhizae are more efficient in

their uptake of phosphorous, nitrogen, calcium, potassium and several micronutrients, particularly zinc (Tinker 1980). Arbuscular mycorrhizae colonize several species of plants and oil palm is one of them (Fröhlich and Hyde 1999). In Ecuador, the role of mycorrhizae in many crops has been investigated (Bernal 2006), but not in oil palm.

Most soils used to grow palms in Ecuador are Andisols that fix large amounts of phosphorus and make it unavailable to plants (Corley and Tinker 2003, Miyasaka and Habte 2001). The association of roots and

¹ Pontificia Universidad Católica del Ecuador

² Assistant Investigator, ANCUPA

³ vbravo@ancupa.com

⁴ Director of Research, ANCUPA, gbernal@ancupa.com

mycorrhizae can become an important alliance because these fungi can absorb inorganic forms of phosphate (Nye and Tinker 2000) and then release it to the host roots (Corley and Tinker 2009).

The objectives of this study were to determine the degree of mycorrhizal association in oil palm in plantations in several regions of Ecuador and to evaluate the efficiency of colonization and phosphorus uptake from the native mycorrhizal consortia in nursery stage palms.

Methodology

Several plantations were visited in the main areas where oil palm is grown in the country (San Lorenzo, Quinindé, Las Golondrinas, El Sade and La Concordia, Santo Domingo de los Colorados, Quevedo, Joya de los Sachas and Shushufindi) and soil and root samples were collected and then taken to the Center for Oil Palm Research (*Centro de Investigaciones de Palma Aceitera - ANCUPA*, vía Santo Domingo-Quinindé).

The genetic material evaluated included samples from several centers (CIRAD, ASD, INIAP, Palmar del Río) dedicated to oil palm breeding, including commercial tenera palm varieties (*Elaeis guineensis*), Deli *duras*, *Elaeis oleifera*, OxG hybrids (*E. oleifera* x *E. guineensis*) and a compact clone (Maldonado 2008).

Endophyte colonization level was determined using a scale of 0 to 5, and the method for “root depigmentation and staining with the application of heat” (Herrera 1993) was used to determine percentage of colonization. The spore population in the soil was determined using the “wet sieving and decanting” method (Gerdemann and Nicolson 1963). Taxonomic classification at the genus level was done according to Morales (2004), using the taxonomic keys of the International Culture of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Fungi” (Morton 1993).

Statistical analysis (ANOVA) was performed on a ‘completely randomized design’ in a 4x5 +1 factorial arrangement, in which the variables were the 14 genetic materials and the nine crop regions. Means were compared using Tukey (5%).

Fungi samples collected in the field (57 consortia) were reproduced in sorghum (*Sorghum vulgare*) in the greenhouse and then four consortia were selected for use in inoculations of palms in the nursery stage, where a factorial arrangement was used with completely randomized design with eight replications. Three weeks after transplanting from pre-nursery to nursery, each plant received 20 g of a substrate with 600 viable spores, and evaluations were done over the 210 days following inoculation.

Each one of the four mycorrhizal consortia was evaluated along with five increasing doses of phosphorus: 2.5 g (152 ppm), 5 g (304 ppm), 7.5 g (456 ppm) and 12.6 g of phosphorus/plant (760 ppm). The amounts corresponded to 25%, 50%, 75%, 100% and 125% of the amount of phosphorous normally recommended by INIAP (10.1 g P/plant, 608 ppm). Treatments were compared with controls that were not inoculated.

Results and Discussion

Degree of infestation and colonization

The genera of arbuscular mycorrhizae associated with different genotypes of oil palm were *Glomus* spp., *Acaulospora* spp., *Archaeospora* spp. and *Gigaspora* spp. Intercellular and intracellular hyphae and vesicles were found in all genetic materials (*E. guineensis*, *E. oleifera*, *E.*

guineensis x *E. oleifera* and compact varieties), but it was not possible to detect visible differences in the degree of infestation in the roots between these materials. However, the apparent infestation was not equal in the different sample collection areas (Fig. 1).

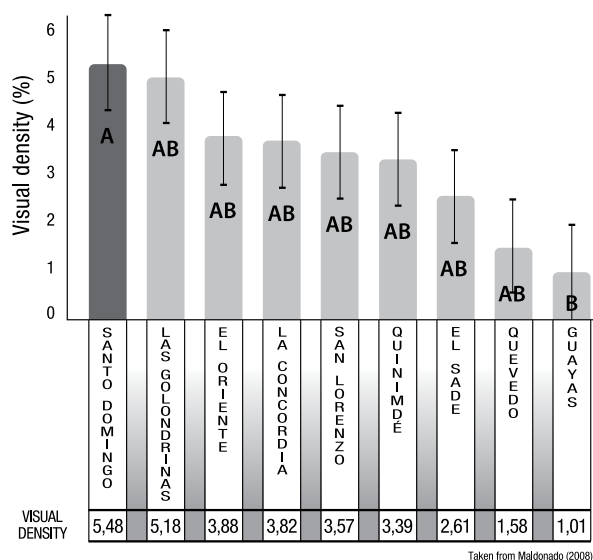


Fig. 1. Visual density of the endophyte of the 'mycorrhizal' consortia in different oil palm zones of Ecuador

The degree of colonization was quite high and similar between materials and sampling areas, indicating the importance (Sieverding 1991) of the symbiosis between oil palm and mycorrhizal complexes. Samples from the Santo Domingo region showed the highest degree of colonization (72.95% on average).

Spore population

The spore population was found to be similar in all the genetic materials, but different between regions. The overall average value (1,741 spores/100g) can be considered high when compared with the critical value determined in *Manihot esculenta* (1,300 spores/100g) (Sieverding 1991). The average number of spores in Sto. Domingo (3,102 spores/100g) was statistically higher than the rest, but it was also high in Las Golondrinas, San Lorenzo, El Sade and La Concordia (Fig. 2).

The population of mycorrhizae and the degree of colonization of roots was associated with the organic matter content in soil and rainfall (Table 1), which are factors that promote the activity of these fungi (Fisher and Jayachandran 2005).

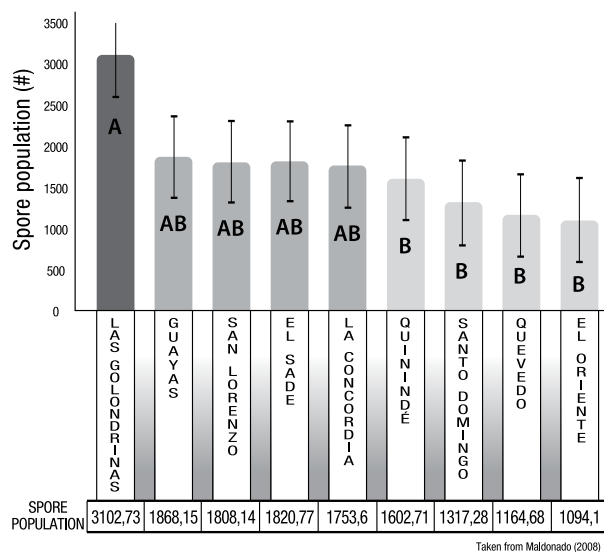


Fig. 2. Population of fungi spores (mycorrhizae) in various palm-growing zones of Ecuador. There are no significant differences (Tukey, P=5%) between bars with the same letters.

	Mycorrhizal colonization	Visual density	Spore population/100g
Floor vegetation	0.36**	0.26	0.14
Rainfall	0.32*	0.40**	0.09
Organic matter	0.21	0.31*	0.19
Phosphorus	-0.008	-0.087	-0.26*

Means compared with Tukey, 5%

Multiplication and selection of inocula

Different populations of fungi were successfully multiplied in trap plants (*Sorghum vulgare*) under greenhouse conditions. The Quinindé consortium in particular was very prolific and its spore population grew from 669 to 3,038 spores/100 g. Each consortium received a ranking based on its performance in the trap plant, and the four best (from Quinindé, San Lorenzo, La Concordia and Quevedo) were selected for use in nursery palm inoculation tests.

Inoculation in nursery palms

The inoculation of plants with the best consortium was associated with a higher specific leaf area (205.4 vs. 181.6 cm² g⁻¹ on average in the three other consortia). The best visual density values of infestation were obtained with the strains designated 46 and 5.

Phosphorus dose had no significant effect. However, strain 46, accompanied by a 7.5 g dose of phosphorus per plant (which is 25% lower than the dose commonly used in the region) was the one that showed the best performance. The 1.50% visual density value for the Quevedo consortium was significantly different from the other consortia (Fig. 3). In another similar study, Motta and Munévar (2005) also did not find any effect of high phosphorus contents on mycorrhizal colonization, nor on the potential benefits (growth and nutrient uptake by the plant) from the symbiont.

The reduced phosphorus dose (75%) in interaction with the mycorrhizal consortium of the Quevedo zone was associated with a visual density percentage that was higher than the rest, which could be taken as an indication that the plants inoculated with mycorrhizae can reduce their

demand for phosphorus applied as fertilizer. The leaf content of phosphorus in plants inoculated with the Quevedo consortium was significantly higher: 0.184% vs. 0.179% in the other three.

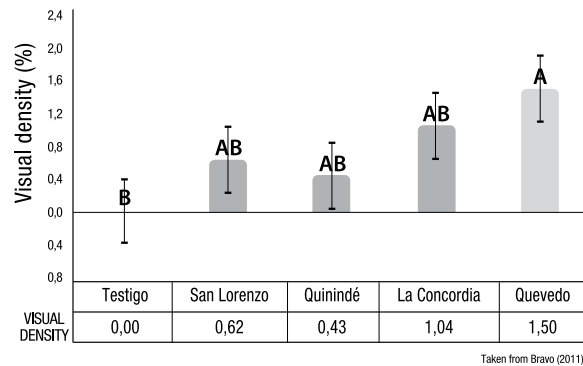


Fig. 3. Visual density of the endophyte for four mycorrhizal consortia of palms (*Elaeis guineensis*) in the nursery in Ecuador. Bars with the same letters do not have statistically significant differences (Tukey, 0.5%).

Conclusions

The presence of arbuscular mycorrhizal fungal structures was confirmed in the roots of oil palm in several regions in Ecuador. The structures were identified as arbuscules, vesicles and hyphae belonging to the genera *Glomus* spp., *Acaulospora* spp., *Archaeospora* spp. and *Gigaspora* spp.

The existence of high values for infection rates in roots and spore populations in soils were documented; this confirms that there is a high degree of association between the roots of oil palm and arbuscular mycorrhizae, and that this association is favored by the factors that promote colonization and mycorrhizal sporulation, such as soil organic matter content, rainfall and ground cover.

The consortium called M4 (strain 46) from Quevedo was identified as the best for its ability to colonize roots and its effect on growth (leaf area) and phosphorus content in palm plants in the nursery stage. Evidence was found that plants inoculated with mycorrhizae may reduce their demand for phosphorus applied as fertilizer.

The next step in this research would be the identification of morpho-species present in the M4 consortium to the level of genus and species to determine the fungi present and adaptation to different regions and types of soil in the nursery phases and in palms in the field.

Bibliography

- Bernal F. 2002. Consideraciones prácticas sobre la nutrición de la palma de aceite. *Revista El Palmicultor* 15: 21-24.
- Bernal G. 2006. La microbiología de suelos en el Ecuador: Situación actual de la investigación. ANCUPA.
- Bravo V. 2011. Evaluación de consorcios simbióticos micorrízicos nativos de palma aceitera (*Elaeis guineensis* J.), reproducidos como bioinoculantes para el estudio de su eficiencia en fase de vivero. Tesis de Ingeniería. Departamento de Ciencias de la Vida. Facultad de ingeniería en Biotecnología. Escuela Politécnica del Ejército. Sangolquí-Ecuador.
- Corley R., Tinker P. 2003. *The Oil Palm*. 4th Edition. Blackwell Publishing Ltd. UK. England.
- Fisher J. B., Jayachandran K. 2005. Presence of arbuscular mycorrhizal fungi in South Florida native plants. *Mycorrhiza* 15: 580-588.
- Fröhlich J. Hyde K. 1999. Biodiversity of palm fungi in the tropics: are global fungal diversity estimates realistic? *Biodiversity and Conservation* 8: 977-1004.
- Gerdemann J. Nicholson T. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *British Mycological Society* 46: 235-244.
- Hartley C. 1988. *The Oil Palm*. 3rd Edition. Longman UK Group Limited. England.
- Herrera P. 1993. General methodology to analyze rootlets, raw humus and VA mycorrhizal (VAM) components. Cuba.
- Maldonado L. 2008. Estudio del comportamiento de las asociaciones micorrízicas en el material germoplásmico de la palma aceitera en el Ecuador. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Escuela de Ciencias Biológicas. Universidad Católica del Ecuador. Quito.
- Miyasaka S. Habte M. 2001. Plant mechanisms and mycorrhizal symbioses to increase phosphorus uptake efficiency. *Commun. in Soil Science and Plant Analysis*, 32: 1101-1147.
- Morales R. 2004. Estudio de la diversidad microbiana en sistemas agroforestales de café (Ksp.), y cultivos de pastos y arroz (*Oriza sativa*), en dos tipos de suelo del sur de Manabí. Tesis de Ingeniería. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Morton J. 1993. Traditional definitions of spore morphological characters. [on-line]. "International Culture of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Fungi". INVAM. <<http://invam.caf.wvu.edu>> (Consulted: January 2011).
- Motta D., Munévar F. 2005. Respuesta de plántulas de palma de aceite a la micorrización. *Palmas*, 26(3):11-20.
- Nye P., Tinker P. 2000. *Solute movement in the rhizosphere*. Oxford University Press, Oxford, England.
- Sieverding E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Technical Cooperation, Federal Republic of Germany. Eschborn. Schriftenreihe der GTZ.

Asociación 'micorrízica' nativa en palma aceitera (*Elaeis guineensis*) en Ecuador y evaluación de su eficiencia de colonización en palmas de vivero

Maldonado Lucrecia¹; Bravo Vladimir²; Morales Rocío³; Bernal Gustavo⁴

Resumen

Se tomaron muestras de suelo y raíces en 25 plantaciones de palma aceitera en la costa y Amazonía Ecuatoriana, en las que se colectó 57 consorcios 'micorrízicos' y se determinó la población de esporas y el nivel de endófito o intensidad de infección en las raíces, en 14 orígenes genéticos que incluían cruces comerciales ténera (*Elaeis guineensis*), híbridos OxG (*E. oleifera* x *E. guineensis*) y palmas *E. oleifera* de varios orígenes. Los géneros de micorrizas arbusculares identificados fueron *Glomus* spp., *Acaulospora* spp., *Archaeospora* spp. y *Gigaspora* spp. Se encontraron hifas intercelulares e intracelulares y vesículas en todos los materiales genéticos (*E. guineensis*, *E. oleifera*, *E. guineensis* x *E. oleifera* y variedades compactas), pero la infestación aparente no fue igual en las diferentes zonas de colección de las muestras, ya que la población de micorrizas y el grado de colonización de las raíces estuvo asociado con el contenido de materia orgánica en el suelo y la precipitación pluvial en cada zona. No se encontró interacción entre el efecto atribuible a los aislamientos de micorriza, el crecimiento vegetativo y las diferentes fuentes de germoplasma.

En una segunda etapa del trabajo, se reprodujeron varios aislamientos en plantas trampa de sorgo (*Sorghum vulgare*), se seleccionaron los cuatro consorcios con mejores características de producción de esporas y materia seca en la planta, y luego se evaluó la eficiencia infectiva de cuatro de ellos en palmas de vivero de la variedad ténera INIAP.

Se identificó un consorcio particularmente eficiente en cuanto a su capacidad de colonización de las raíces y efecto beneficioso sobre las plantas de vivero (área foliar y toma de fósforo), el cual será objeto de estudios posteriores.

Introducción

Se estima que en Ecuador existen cerca de 207285 hectáreas plantadas con palma aceitera distribuidas principalmente en las regiones de San Lorenzo, Occidental, Guayas y Oriental. En general, la productividad es baja, debido a problemas de manejo agronómico que contribuyen al deterioro del sistema radical y a una nutrición inadecuada del cultivo (Bernal 2002).

La asociación de micorrizas con las raíces de las plantas mejora la toma de varios nutrientes y puede mejorar la productividad de la palma aceitera (Corley y Tinker 2003). Las raíces infectadas con micorrizas son más

eficientes en la toma de fósforo, nitrógeno, calcio, potasio y varios micronutrientes, particularmente el zinc (Tinker 1980). Las micorrizas arbusculares colonizan varias especies de plantas y la palma aceitera es una de ellas (Fröhlich y Hyde 1999). En Ecuador, se ha investigado el papel de las micorrizas en muchos cultivos (Bernal 2006), pero no en palma aceitera.

Muchos de los suelos palmeros en el Ecuador son Andisoles que fijan grandes cantidades de fósforo y lo hacen no disponible para las plantas (Corley y Tinker 2003, Miyasaka y Habte 2001). La asociación de las

¹ Pontificia Universidad Católica del Ecuador

² Investigador asistente, ANCUPA

³ vbravo@ancupa.com

⁴ Director de Investigaciones, ANCUPA, gbernal@ancupa.com

raíces con micorrizas puede convertirse en un aliado importante, pues estos hongos pueden absorber formas de fosfato inorgánico (Nye y Tinker 2000) y luego liberarlo a la raíz hospedera (Corley y Tinker, 2009).

Los objetivos de este estudio fueron determinar el grado de asociación micorrízica en palma aceitera en plantaciones en varias regiones del Ecuador y evaluar la eficiencia de la colonización y absorción de fósforo de los consorcios micorrízicos nativos en palmas en la fase de vivero.

Metodología

Se visitaron varias plantaciones en las principales zonas donde se cultiva palma aceitera en el país (San Lorenzo, Quinindé, Las Golondrinas, El Sade y La Concordia, Santo Domingo de los Colorados, Quevedo, Joya de los Sachas y Shushufindi) y se colectaron muestras de suelo y raíces que luego fueron llevadas al Centro de Investigaciones de Palma Aceitera (ANCUPA, vía Santo Domingo-Quinindé).

El material genético evaluado incluyó muestras provenientes de varios centros (CIRAD, ASD, INIAP, Palmar del Río) dedicados al mejoramiento del cultivo, por lo que incluye palmas *ténera* (*Elaeis guineensis*) de variedades comerciales, duras Deli, *Elaeis oleifera*, híbridos OxG (*E. oleifera* x *E. guineensis*) y un clon compacto (Maldonado 2008).

El nivel endófito de colonización se determinó utilizando una escala de 0 a 5, y el porcentaje de colonización con el método de “despigmentación y tinción de raíces con aplicación de calor” (Herrera 1993). La población de esporas en el suelo se determinó con el método de “tamizado en húmedo y decantación” (Gerdemann y Nicolson 1963). La clasificación taxonómica a nivel de género se realizó según Morales (2004), utilizando las claves taxonómicas del International Culture of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Fungi” (Morton 1993).

El análisis estadístico (ANOVA) se realizó según un ‘diseño completamente al azar’ en arreglo factorial 4x5+1, en donde las variables fueron 14 materiales genéticos y las nueve zonas de cultivo. Las medias se separaron con Tukey (5%).

Las muestras de hongos recogidas en el campo (57 consorcios) fueron reproducidas en sorgo (*Sorghum vulgare*) en invernadero y luego se seleccionaron cuatro consorcios para ser utilizados en inoculaciones de palmas en la fase de vivero, en donde se usó un arreglo factorial con un diseño completamente al azar con ocho repeticiones. Tres semanas luego del trasplante de previvero a vivero, cada planta recibió 20 g de un sustrato con 600 esporas viables, y se hicieron evaluaciones durante 210 días posteriores a la inoculación.

Cada uno de los cuatro consorcios de micorrizas se evaluó junto con cinco dosis crecientes de fósforo: 2,5 g (152 ppm), 5 g (304 ppm), 7,5 g (456 ppm) y 12,6 g de fósforo/planta (760 ppm). Las cantidades corresponden a 25%, 50%, 75%, 100% y 125% de la cantidad de fósforo normalmente recomendada por INIAP (10,1 g P/planta, 608 ppm). Los tratamientos fueron comparados con testigos sin inocular.

Resultados y Discusión

Grado de infestación y de colonización

Los géneros de micorrizas arbusculares asociados con los diferentes genotipos de palma aceitera fueron *Glomus* spp., *Acaulospora* spp., *Archaeospora* spp. y *Gigaspora* spp. Se encontró hifas intercelulares e intracelulares y vesículas en todos los materiales genéticos (*E. guineensis*, *E. oleifera*,

E. guineensis x *E. oleifera* y variedades compactas), pero no fue posible determinar diferencias visuales en el grado de infestación en las raíces entre estos materiales. No obstante, la infestación aparente no fue igual en las diferentes zonas de colección de las muestras (Fig. 1).

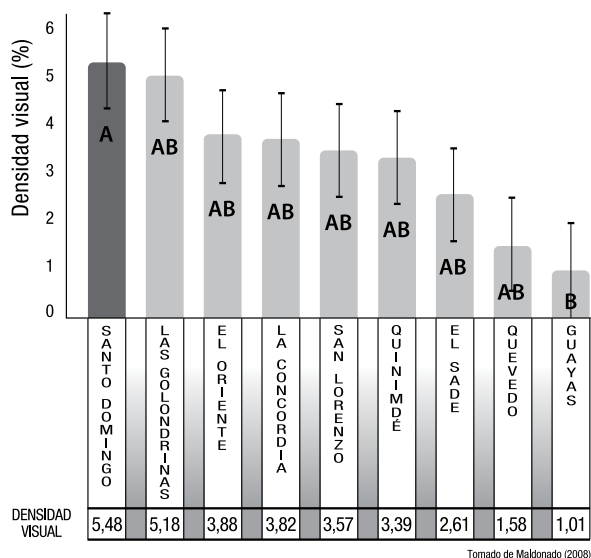


Fig. 1. Densidad visual del endófito de los consorcios 'micorrizicos' en diferentes zonas palmeras del Ecuador

El grado de colonización fue bastante alto y similar entre materiales y zonas de muestreo, lo que indica la importancia (Sieverding 1991) de la simbiosis entre la palma aceitera y los complejos de micorrizas. Las muestras provenientes de la región de Santo Domingo mostraron el mayor grado de colonización (72,95% en promedio).

Población de esporas

La población de esporas encontrada fue similar en todos los materiales genéticos, pero diferente entre regiones. El valor promedio general (1741 esporas/100g) puede considerarse alto al compararlo con el valor crítico establecido en *Manihot esculenta* (1300 esporas/100g) (Sierverding 1991). El número promedio de esporas en Santo Domingo (3102 esporas/100g) fue estadísticamente superior al resto, pero también fue alto en Las Golondrinas, San Lorenzo, El Sade y La Concordia (Fig. 2).

La población de micorrizas y el grado de colonización de las raíces se asoció con el contenido de materia orgánica en el suelo y la precipitación pluvial (Cuadro 1); los cuales son factores que promueven la actividad de estos hongos (Fisher y Jayachandran 2005).

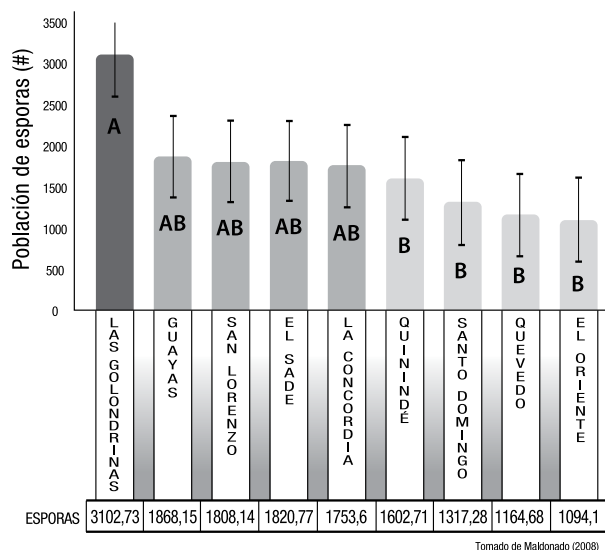


Fig. 2. Población de esporas de hongos (micorriza) en varias zonas palmeras de Ecuador. Letras iguales en las barras indican diferencias no significativas (Tuckey, P=5%)

Cuadro 1. Correlación entre la colonización, la densidad visual y la población de esporas de micorrizas con algunas variables del medio.			
	Colonización micorrízica	Densidad visual	Población de esporas/100g
Cobertura vegetal	0.36**	0.26	0.14
Precipitación	0.32*	0.40**	0.09
Materia orgánica	0.21	0.31*	0.19
Fósforo	-0.008	-0.087	-0.26*

Medias separadas con Tuckey, 5%

Multiplicación y selección del inóculo

Las diferentes poblaciones de hongos fueron multiplicadas exitosamente en plantas trampa (*Sorghum vulgare*) en condiciones de invernadero. El consorcio Quinindé, en particular fue muy prolífico, y su población de esporas creció desde 669 hasta 3038 esporas/100 g. Cada consorcio recibió una clasificación con base en su desempeño en la planta trampa, y los cuatro mejores (procedentes de Quinindé, San Lorenzo, La Concordia y Quevedo) fueron seleccionados para ser usados en las pruebas de inoculación en palmas de vivero.

Inoculación en palmas de vivero

La inoculación de las plantas con el mejor consorcio se asoció con una mayor área foliar específica (205.4 vs. 181.6 cm² g⁻¹ como promedio en los otros tres consorcios).

Los mejores valores de densidad visual de infestación se alcanzaron con las cepas denominadas 46 y 5, sin que la dosis de fósforo tuviera un efecto significativo. No obstante, la cepa 46, acompañada de una dosis de 7.5 g de fósforo por planta (la cual es 25% inferior a la comúnmente usada en la región) fue la que mostró el mejor desempeño. El valor de 1,50 % de densidad visual del consorcio Quevedo fue significativamente diferente a los otros consorcios (Fig. 3). En otro estudio similar, Motta y Munévar (2005) tampoco encontraron un efecto de contenidos altos de fósforo sobre la micorrización, ni sobre los beneficios potenciales (crecimiento y absorción de nutrientes por la planta) del simbionte.

La dosis reducida de fósforo (75%) en interacción con el consorcio micorrízico de la zona de Quevedo se asoció con un porcentaje de densidad visual superior

al resto; lo cual podría tomarse como indicativo de que las plantas inoculadas con micorrizas pueden reducir su demanda de fósforo aplicado como fertilizante. El contenido foliar de fósforo en las plantas inoculadas con el consorcio Quevedo fue significativamente superior: 0,184% vs. 0,179% en los otros tres.

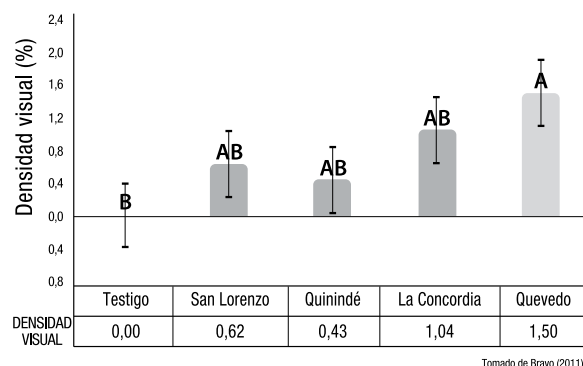


Fig. 3. Densidad visual del endófito para cuatro consorcios micorrízicos en palmas (*Elaeis guineensis*) de vivero, Ecuador. Letras iguales en las columnas indican diferencias no significativas (Tuckey, 0.5%)

Conclusiones

Se confirmó la presencia de estructuras de hongos micorrízicos arbusculares en las raíces de palmas aceiteras en varias regiones en Ecuador. Las estructuras fueron identificadas como arbuscúlos, vesículas e hifas pertenecientes a los géneros *Glomus* spp., *Acaulospora* spp., *Archaeospora* spp. y *Gigaspora* spp.

Se documentó la existencia de altos valores de la tasa de infección en raíces y de población de esporas en los suelos; lo cual confirma que existe un alto grado de asociación entre las raíces de la palma aceitera y las micorrizas arbusculares, y que esta asociación es favorecida con los factores que promueven la colonización y esporulación micorrízica, tales como el contenido de materia orgánica, la precipitación y la cobertura vegetal.

El consorcio denominado M4 (cepa 46) procedente de Quevedo fue identificado como el mejor por su capacidad de colonización de las raíces y su efecto sobre el crecimiento (área foliar) y contenido de fósforo en las plantas de palma en la fase de vivero. Se encontró evidencia de que las plantas inoculadas con micorrizas pueden reducir su demanda de fósforo aplicado como fertilizante.

El siguiente paso de esta investigación sería la identificación de las morfoespecies presentes en el consorcio M4 a nivel de género y especie para determinar los hongos presentes y adaptación a diferentes regiones y tipos de suelo en las fases de vivero y en palmas en el campo.

Bibliografía

- Bernal F. 2002. Consideraciones prácticas sobre la nutrición de la palma de aceite. *Revista El Palmicultor* 15: 21-24.
- Bernal G. 2006. La microbiología de suelos en el Ecuador: Situación actual de la investigación. ANCUPA.
- Bravo V. 2011. Evaluación de consorcios simbióticos micorrízicos nativos de palma aceitera (*Elaeis guineensis* J.), reproducidos como bioinoculantes para el estudio de su eficiencia en fase de vivero. Tesis de Ingeniería. Departamento de Ciencias de la Vida. Facultad de ingeniería en Biotecnología. Escuela Politécnica del Ejército. Sangolquí-Ecuador.
- Corley R., Tinker P. 2003. *The Oil Palm*. 4th Edition. Blackwell Publishing Ltd. UK. England.
- Fisher J. B., Jayachandran K. 2005. Presence of arbuscular mycorrhizal fungi in South Florida native plants. *Mycorrhiza* 15: 580–588.
- Fröhlich J. Hyde K. 1999. Biodiversity of palm fungi in the tropics: are global fungal diversity estimates realistic? *Biodiversity and Conservation* 8: 977–1004.
- Gerdemann J. Nicholson T. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *British Mycological Society* 46: 235-244.
- Hartley C. 1988. *The Oil Palm*. 3rd Edition. Longman UK Group Limited. England.
- Herrera P. 1993. General methodology to analyze rootlets, raw humus and VA mycorrhizal (VAM) components. Cuba.
- Maldonado L. 2008. Estudio del comportamiento de las asociaciones micorrízicas en el material germoplásmico de la palma aceitera en el Ecuador. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Escuela de Ciencias Biológicas. Universidad Católica del Ecuador. Quito.
- Miyasaka S. Habte M. 2001. Plant mechanisms and mycorrhizal symbioses to increase phosphorus uptake efficiency. *Commun. in Soil Science and Plant Analysis*, 32: 1101–1147.
- Morales R. 2004. Estudio de la diversidad microbiana en sistemas agroforestales de café (Ksp.), y cultivos de pastos y arroz (*Oriza sativa*), en dos tipos de suelo del sur de Manabí. Tesis de Ingeniería. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Morton J. 1993. Traditional definitions of spore morphological characters. [on-line]. "International Culture of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Fungi". INVAM. <<http://invam.caf.wvu.edu>> (Consulted: January 2011).
- Motta D., Munévar F. 2005. Respuesta de plántulas de palma de aceite a la micorrización. *Palmas*, 26(3):11-20.
- Nye P., Tinker P. 2000. *Solute movement in the rhizosphere*. Oxford University Press, Oxford, England.
- Sieverding E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Technical Cooperation, Federal Republic of Germany. Eschborn. Schriftenreihe der GTZ.



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