

Efecto de los niveles de agua en el suelo sobre la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.)

I. Evapotranspiración en etapa de vivero

*Effects of the soil water levels on the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.)*

I. Evapotranspiration in the nursery stage

CONSTANZA BURGOS S.*; RODRIGO PERDOMO R.*; CARMEN TERESA MORALES*; DANIEL GERARDO CAYÓN S. **

RESUMEN

Con el objetivo de conocer el comportamiento de la evapotranspiración (ET) del cultivo de palma de aceite en la etapa de vivero, este parámetro se determinó bajo diferentes condiciones de humedad del suelo (saturación total, 0 MPa; saturación media, -0,01 MPa; capacidad de campo, -0,03 MPa y déficit hídrico, -0,3 MPa). Durante el ensayo se registraron los datos climáticos de temperatura, humedad relativa y evaporación, los cuales se utilizaron para realizar correlaciones y regresiones lineales. Se observó que la evaporación, medida en el tanque "clase A", es el factor más descriptivo del tamaño de la evapotranspiración, presentando coeficientes de correlación y regresión altos. Los resultados muestran que la mayor evapotranspiración, de 8,98 mm/día, se presentó a un potencial hídrico del suelo de -0,01 Mpa (saturación media).

SUMMARY

This study was done in order to know the oil palm evapotranspiration behavior (ET) in the nursery stage. This parameter was determined under different soil moisture conditions [Total saturation, 0 MPa; Medium saturation, -0.01 MPa; Field capacity, -0.03 MPa y Hydric deficit, -0.3 MPa]. Climatic data as temperature, relative humidity and evaporation were recorded during the study, and were used to establish correlations and linear regressions. It was observed that evaporation measured in tank "class A" is the most descriptive factor of evapotranspiration size, showing high statistical correlation and regression coefficients. Results show that the highest evapotranspiration, 8.98 mm daily, was presented at a soil hydric potential of Medium saturation (-0.01 MPa).

Palabras claves. - Evapotranspiración, Humedad, Clima, Balance hídrico, Palma de aceite, Agua del suelo, Viveros, Transpiración.

* Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA). Santafé de Bogotá, D.C., Colombia.

** Ing. Agrónomo. Líder Área Fitomejoramiento. Cenipalma, Apartado Aéreo 252 171. Santafé de Bogotá, D.C. Colombia.

INTRODUCCIÓN

Levapotranspiración (ET) es la cantidad de agua que necesita la palma de aceite para su crecimiento normal. Parte de esta agua es transpirada por las hojas a la atmósfera y un porcentaje es almacenado y utilizado en la formación de carbohidratos, convertidos posteriormente en aceite (Pabón 1985).

La evapotranspiración es la suma de dos términos: *transpiración*, que es el agua que al penetrar por las raíces de las plantas es utilizada en la construcción de tejidos o emitida por las hojas y reintegrada a la atmósfera, y b) *evaporación*, que es el agua evaporada por el terreno adyacente, por la superficie del agua o por la superficie de las hojas de las plantas. El agua depositada por el rocío, la lluvia o la lluvia artificial y que se evapora sin ser utilizada por la planta, forma parte de la ET (Hansen 1965).

El conocimiento de la ET es fundamental para la estimación de las necesidades de agua de los cultivos y, por lo tanto, se utiliza para realizar balances hídricos en las áreas de cultivo con el fin de determinar la frecuencia de aplicación y el tamaño de las láminas de riego.

La ET es influenciada por factores climatológicos, edáficos, de la planta, fitotécnicos, geográficos y por el agua disponible en la interfase con la atmósfera. Cuando la interfase con la atmósfera no está saturada, el agua se pierde por ET después de haber alcanzado la misma interfase, superando la resistencia del flujo hídrico en el suelo y en la planta; en tal caso, la ET de un sistema dado resulta una función casi exclusivamente de los factores climáticos (Santa Olalla y Valero 1993).

La ET depende de la temperatura, de las prácticas de riego, del período de crecimiento, de las precipitaciones y de otros factores. El volumen de agua transpirado por las plantas depende, en gran parte, del agua que tiene a su disposición, de la temperatura y humedad del aire, del régimen de vientos, de la radiación solar, del estado de desarrollo de la planta, de su follaje y de la naturaleza de sus hojas (Hansen 1965).



Según Santa Olalla y Valero (1993), la ET aumenta con la velocidad del viento hasta un cierto límite, por

encima del cual no se producen incrementos, e incluso fuertes vientos pueden provocar importantes descensos en las tasas de ET. La temperatura en sí misma no es un factor que afecte directamente a la ET, y su incidencia proviene de su condición de indicador de la fuerza motriz del proceso de ET o de su influencia en el déficit de tensión de vapor de agua. En términos generales, la temperatura media del aire está influenciada por la radiación, de tal modo que los meses en que sus valores son más altos, son aquellos en los que se recibe más radiación. La tensión de vapor de agua es un parámetro que depende de la temperatura, ya que ésta actúa sobre la energía cinética de las moléculas de agua. Así, el déficit de saturación estará influenciado por las temperaturas del aire, la planta y el suelo y por la humedad relativa del aire.

Según Hansen (1965), hay varios sistemas para determinar la cantidad de agua consumida por los cultivos y la vegetación natural. Los principales utilizan evapotranspirómetros, lisímetros y balances hídricos realizados en parcelas experimentales. Estos métodos directos son muy laboriosos, dando resultados confiables que usualmente se correlacionan con parámetros climáticos, debido a la gran interdependencia que éstos tienen con la ET.

Los análisis empíricos producen buenos resultados en las localidades donde se han hecho los estudios y en otras zonas de clima similar. Numerosas fórmulas para el cálculo de la ET están

basadas, fundamentalmente, en estos tipos de análisis, aplicables a determinadas condiciones, y no es recomendable su extrapolación indiscriminada (Cuenca 1982). Por tal motivo se hace necesario conocer la ET que realmente ocurre bajo las condiciones edafoclimáticas en las que se desarrolla el cultivo. El conocimiento del balance hídrico de las palmas en etapa de vivero reviste gran importancia, debido a que el adecuado crecimiento y desarrollo inicial dependen de la disponibilidad de agua durante esta etapa, lo cual también va a influenciar el desempeño posterior al trasplante en el sitio definitivo. Como en Colombia son muy pocos los trabajos realizados con relación al estudio de la ET de la palma de aceite, el objetivo de este ensayo fue determinar la ET en etapa de vivero, a diferentes niveles de humedad del suelo y su correlación con algunos factores climáticos.


La evapotranspiración (ET) es la cantidad de agua que necesita la palma de aceite para su crecimiento normal.


MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo bajo condiciones controladas (vivero con cubierta plástica) en la plantación "Unipalma", en el municipio de Cumaral (Meta), Colombia, a 305 msnm y con una precipitación media anual de 3.100 mm. Las palmas se sembraron en bolsas de 20 kg y se localizaron en un área de 750 m². Se utilizó material híbrido Tenera (D X P) de seis meses de edad, proveniente de la plantación Las Flores, municipio de Codazzi (Cesar).

El diseño experimental utilizado fue el de Bloques Completos al azar, con cuatro tratamientos (Tabla 1), cinco repeticiones y 20 unidades experimentales, con doce palmas cada una, para un total de 240 palmas. Los resultados obtenidos se procesaron utilizando el sistema estadístico SAS para la realización de los análisis de varianza y las pruebas de correlación y regresión lineal.

A continuación se hace una somera descripción de los tratamientos usados en el estudio:

1. Saturación total (ST)

Presentó una condición permanente de anegamiento con una lámina de agua de 2 cm sobre la superficie del suelo, sin existir cambios en humedad, y por lo tanto, la fuerza de succión es nula (0 MPa).

2. Saturación media (SM)

El suelo se encontraba en un nivel menor que el nivel de saturación total, sin alcanzar una humedad que pueda denominarse como capacidad de campo (CC). El suelo ejercía una fuerza de succión por el agua de -0,01 MPa.

3. Capacidad de campo (CC)

Se caracterizó por contener toda el agua capilar que es capaz de retener el suelo contra la gravedad, ejerciendo una fuerza de succión de -0,03 MPa.

4. Déficit hídrico (DH)

Consideró un nivel de agua en el suelo en el que la planta sufrió por estrés hídrico, siendo este nivel superior al del punto de marchitez permanente. En estas condiciones, el suelo ejercía una fuerza de succión por el agua de -0,3 MPa.

Inicialmente se realizó un análisis físico - químico del suelo experimental con el fin de conocer el estado nutricional y las propiedades físicas, para su posterior manejo. Igualmente se contó con el análisis de calidad del agua de riego disponible para el invernadero, cuyos resultados la muestran como de buena calidad, sin restricciones para cultivos o para las diferentes clases de suelo. Con base en el análisis del suelo y los criterios recomendados en la plantación con respecto a la fertilización en etapa de vivero, se efectuó la misma de manera uniforme para todos los tratamientos, al igual que las prácticas agronómicas necesarias. El suelo utilizado en las bolsas del vivero fue de textura franco-arcillosa, con contenido bajo de materia orgánica (2,1%), y pH moderadamente ácido (5,5).

Dentro del vivero se llevó un registro diario del clima, midiendo las temperaturas máxima y mínima, la humedad relativa y la evaporación, utilizando termómetros de máxima y mínima, un higrotermógrafo y un tanque evaporímetro "clase A".

La humedad del suelo, en los diferentes tratamientos, se controló por el método gravimétrico y utilizando tensiómetros: para este fin se elaboró una curva tensión-humedad por el método de Palacios según lo descrito por Aguilera (1986).

La capacidad de campo del suelo (CC) se determinó por el método directo de la curva humedad vs. tiempo. El punto de marchitez permanente (PMP) se determinó por el método biológico reportado por Fernández, según lo descrito por Coras (1987). El control de las humedades correspondientes a los tratamientos se realizó mediante lecturas periódicas de las láminas de agua en el caso del tratamiento ST, y utilizando tensiómetros en los tratamientos SM y CC. En el tratamiento DH se realizó el control de la humedad mediante determinaciones gravimétricas.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Tensión (MPa)*	Descripción
Saturación total (ST)	0	Anegación, con lámina de agua de 2 cm sobre la superficie del suelo.
Saturación media (SM)	-0,01	Humedad intermedia entre saturación total y capacidad de campo.
Capacidad de campo (CC)	-0,03	Contiene toda la cantidad de agua capilar que es capaz de retener contra la gravedad.
Déficit hídrico (DH)	-0,3	Se ejerce un estrés hídrico mayor que el del punto de marchitez permanente.

* MPa = Megapascales

Las láminas de riego aplicadas a cada tratamiento se calcularon acorde con los siguientes parámetros: 1) para ST, cuando la lámina de anegamiento descendía a 1 cm se aplicaba una lámina de agua para restablecer el nivel original de 2 cm, lo que correspondía a 550 ml de agua/ palma. Cuando las condiciones climáticas provocaban la evapotranspiración de los 2 cm de lámina en 24 h, se reponían aplicando 1.000 ml de agua/ palma. 2) en SM, la lámina de agua aplicada se calculó, inicialmente, para una profundidad de suelo efectiva (H) de 25 cm. Cuando durante el curso del estudio la lectura en el tensiómetro ascendía a -0,02 MPa, se aplicaba un volumen de 990 ml/palma; posteriormente, la lámina se recalculo para un H de 30 cm, aplicando un volumen de 1.230 ml/palma. 3) en CC, cuando la lectura del tensiómetro ascendía a -0,04 MPa se aplicaba una lámina de agua de 750 ml/palma para una H efectiva de 25 cm, lámina que posteriormente se recalculo para 30 cm de H, aplicando un volumen de agua de 930 ml/palma. 4) en DH, mediante muestreos gravimétricos periódicos se determinó la humedad equivalente a -0,4 MPa, momento en el que se aplicaba una lámina de agua de 300 ml/ palma para restablecer la humedad al rango inicial estipulado para este tratamiento (-0,3 MPa). La Tabla 2 indica las humedades y tensiones respectivas en las que permanecían los tratamientos, su rango de humedad para inicio del riego y la lámina de agua a aplicar.

Tabla 2. Control de humedad del suelo.

Trata- miento	Rango de humedad				Lámina de agua ml/palma
	Tensión MPa	% HPSS	Tensión MPa	% HPSS*	
ST	0	33,5	0	33,5	550
SM	-0,01	30,0	-0,02	25,5	1250
CC	-0,03	16,9	-0,04	13,5	930
DH	-0,30	9,6	-0,70	8,5	300

* Porcentaje de humedad con respecto al peso de suelo seco.

Las láminas de riego a aplicarse calcularon mediante la expresión :

$$m = 100 * H * \alpha * (\delta Tr - \delta Lec)$$

Donde:

m = lámina a aplicar (m3/ha)

H = profundidad efectiva (m)

α = densidad aparente

δTr = humedad estipulada para el tratamiento (% pss)

δLec = humedad correspondiente a la lectura del

tensiómetro en un tiempo determinado (%pss)

Los balances hídricos efectuados permitieron establecer la evapotranspiración del cultivo en cada tratamiento y su correlación con los factores climáticos predominantes durante el experimento.

$$W_{fin} = W_{ini} + m - ET + Mp$$

$$ET = W_{ini} - W_{fin} + m$$

Donde:

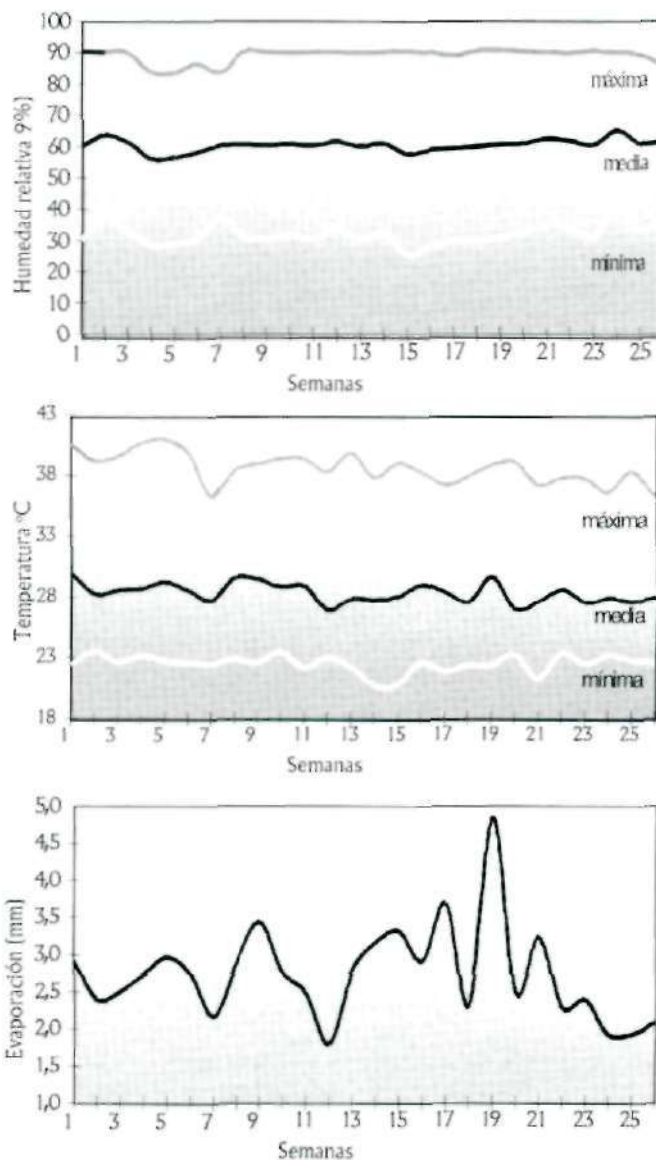


Figura 1. Curvas semanales de humedad relativa, temperatura y evaporación en el vivero, Plantación Santa Bárbara, Cumaral (Meta).

- W ini - reserva de humedad del suelo al inicio del período observado (mm)
- W fin - reserva de humedad del suelo al final del período observado (mm)
- Mp - ingreso por lluvias aprovechables (mm)
- m - lámina de agua aplicada en el período observado (mm)
- ET - evapotranspiración del período observado (mm)

Las reservas iniciales y finales están dadas por las lecturas realizadas en los muestreos de humedad: m es el volumen de la lámina de agua aplicada periódicamente a cada tratamiento en un tiempo determinado; Mp representa la cantidad de agua aprovechable por precipitación, la cual se asumirá como cero para el presente análisis (Kirilova y Morales 1989).

Los coeficientes de cultivo (Kc) se determinaron a partir de la evapotranspiración (ET) en mm acumulada para cada período y la evaporación (evp) en mm medida en el tanque evaporímetro "Clase A", acumulada para el mismo período, utilizando la expresión: $Kc = ET/evp$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presentan las condiciones predominantes de humedad relativa (HR), temperatura y evaporación en el vivero, durante el período de estudio. La HR media fluctuó entre 56,1 y 65,3%, la HR máxima alcanzó valores entre 85,8 y 90,6%, mientras que la HR mínima estuvo entre 25,3 y 40,7%. La temperatura media varió entre 27 y 30 °C, la temperatura máxima entre 36 y 41°C y la mínima entre 21 y 23°C, destacándose la gran diferencia diaria entre la máxima y la mínima que fue mayor de 15°C. Los valores semanales de evaporación fluctuaron entre un máximo de 4,9 mm y un mínimo de 1.8 mm.

También se estableció el grado de dependencia que existe entre la evapotranspiración y los diferentes factores climáticos determinados, obteniéndose una correlación altamente significativa entre la evaporación (evp) y la evapotranspiración (ET) de las palmas para todos los tratamientos (Tabla 3).

Como se puede observar en la Tabla 4, no existe una buena interdependencia entre las variables temperatura media, HR mínima y temperatura media para los tratamientos ST, SM, y CC, respectivamente. El coeficiente de determinación (R²) indica que el modelo lineal no describe el comportamiento de las variables. Los coeficientes de variación observados ponen de manifiesto el grado de dispersión de los datos en función de la media.

En la Figura 2 se observa que la ET acumulada en el tratamiento con déficit hídrico (DH) permaneció casi constante con respecto a la evaporación acumulada. mientras que en los restantes tratamientos, con el incremento de la evaporación acumulada se incrementa la ET, siendo mayor en el tratamiento saturación media (SM), lo cual se explica, probablemente, por el buen crecimiento y desarrollo de la planta en este nivel de humedad en el suelo y por la actividad de apertura y cierre de los estomas, contribuyendo a que no exista restricción para la transpiración de la planta.

El análisis de la función de regresión lineal entre las variables ET acumulada y evaporación acumulada

Tabla 3. Función de regresión lineal y coeficiente de correlación entre evaporación (evp) y evapotranspiración (ET) en palmas de aceite bajo condiciones de vivero.
Regresión lineal: $y = ax + b$, donde y = evapotranspiración (ET).

Tratamiento	Intercepto (b)	Pendiente (a)	Variable (x)	Coef. Corr.	R ²	C.V.	P > F
Saturación total	-130,77	2,20	evp	0,987	0,974	11,84	0,0001
Saturación media	-206,49	3,36	evp	0,985	0,971	12,67	0,0001
Capacidad de campo	-39,75	1,58	evp	0,997	0,995	4,11	0,0001
Déficit hídrico	-11,02	0,399	evp	0,996	0,992	5,09	0,0001

Tabla 4. Función de regresión lineal y coeficiente de correlación entre temperatura media, HR mínima y evapotranspiración [ET] de palmas de aceite en etapa de vivero.
Regresión lineal: $y = ax + b$, donde y = evapotranspiración [ET].

Tratamiento	Intercepto (b)	Pendiente (a)	Variable (x)	Coef. Corr.	R ²	C.V.	P > F
Saturación total	7.696,93	-293,88	T. media	-0,649	0,421	56,54	0,0065
Saturación media	-1.267,63	62,52	HR min	0,483	0,233	65,28	0,049
Capacidad de campo	3.809,77	-121,82	T. media	-0,547	0,299	52,41	0,028

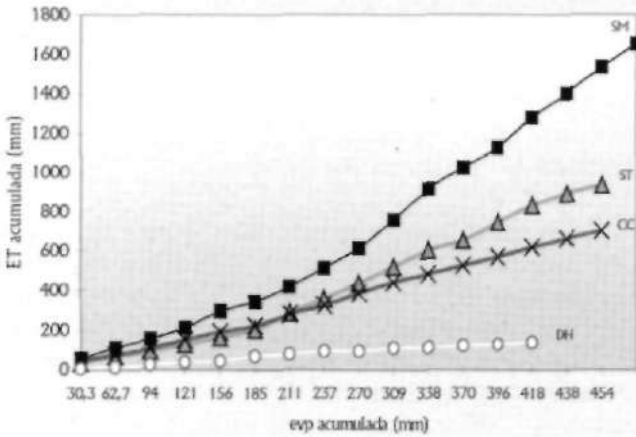


Figura 2. Relación entre evapotranspiración (ET) y la evaporación (evp) acumuladas en palmas de aceite sometidas a diferentes niveles de agua en el suelo. ST = Saturación total; SM = Saturación media; CC = Capacidad de campo; DH = Déficit hídrico.

(Fig. 3) indica que el modelo es el adecuado para describir el grado de asociación de dichas variables. donde los coeficientes de determinación indican que en todos los tratamientos se eliminó más del 97% del error total.

En relación con los resultados obtenidos en la determinación de los coeficientes de cultivo (K_c), se pudo observar que en el tratamiento de déficit hídrico (DH) éstos permanecen casi constantes debido a la baja ET que presentaron las palmas durante el ensayo (Fig. 4). En los demás tratamientos se observó un incremento de los K_c en función del aumento de la humedad del suelo, siendo el tratamiento de saturación media (SM) el que presentó los valores mayores durante todo el período analizado, demostrando que una buena relación aire-agua en el suelo es fundamental para el crecimiento de la palma de aceite.

Una buena disponibilidad de agua en el suelo, acompañada de un porcentaje adecuado de aire en el mismo, ocasiona una máxima ET en el cultivo, mientras que en presencia de déficit de agua, esta ET es menor debido al mecanismo de cierre de los estomas que la planta utiliza para mantener la turgencia de los tejidos.

La evapotranspiración máxima (ET_m) se refiere a aquellas condiciones en las que el agua es la conveniente para un crecimiento y desarrollo sin limitaciones; en el estudio, la ET_m se vio representada por el tratamiento SM, con un valor promedio/día de

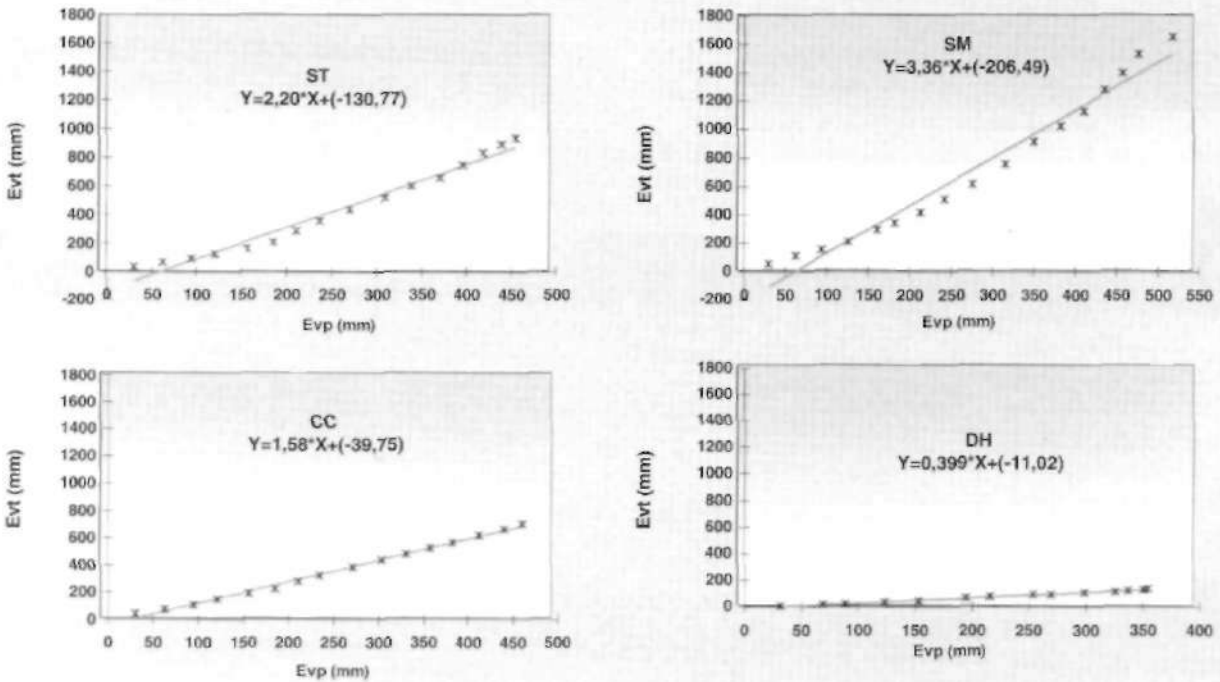


Figura 3. Modelos de regresión lineal para la evapotranspiración (ET) de palmas de aceite en vivero sometidas a diferentes niveles de humedad. ST Saturación total; SM = Saturación media; CC = Capacidad de campo; DH = Déficit hídrico.

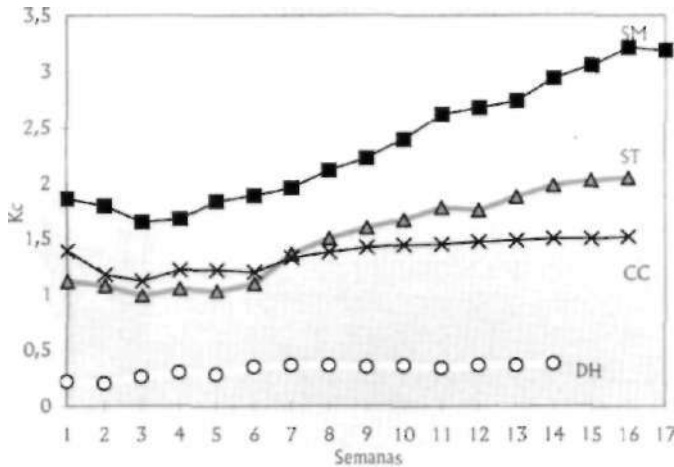


Figura 4. Comportamiento del coeficiente de cultivo (Kc) en palmas de aceite sometidas a diferentes niveles de agua en el suelo. ST = Saturación total; SM = Saturación media; CC = Capacidad de campo; DH = Déficit hídrico.

8,98 mm, mientras que en los tratamientos ST, CC y DH se presentó una ET promedio de 5,49, 3,97 y 0,95 mm/día, respectivamente.

Teniendo en cuenta la importancia del conocimiento de la evapotranspiración en los viveros de palma de aceite, se recomienda profundizar en este tipo de estudios en cada zona de producción, ya que no es recomendable la extrapolación de resultados. Este trabajo puede considerarse como un punto de partida para ensayos posteriores referentes a la optimización del manejo del agua en el cultivo de la palma de aceite.

CONCLUSIONES

- El factor climático que presenta una mayor correlación con la evapotranspiración del cultivo es la evapotranspiración del tanque tipo "clase A".
- La mayor evapotranspiración se presenta bajo condiciones de humedad del suelo favorable, donde hay un buen crecimiento del cultivo y las fluctuaciones de apertura y cierre de los estomas

favorecen el intercambio gaseoso y su regulación hídrica.

- Una buena disponibilidad de agua, acompañada de un adecuado porcentaje de aire en el suelo, ocasiona una máxima evapotranspiración (8,9 mm/día) en el cultivo; mientras que en presencia de déficit de agua, la evapotranspiración es menor (0,95 mm/día), debido al mecanismo de cierre de los estomas que la planta utiliza para mantener turgentes los tejidos.
- Los coeficientes de cultivo (Kc) se incrementan con el aumento del agua en el suelo, siendo mayores en donde las condiciones de humedad son óptimas para el desarrollo de las palmas, presentándose una evapotranspiración máxima.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al personal directivo, técnico y auxiliar de la plantación Santa Bárbara - "Unipalma" por todo el apoyo recibido para la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILERA C. M. 1986. Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. Universidad Autónoma de Chapingo - México.
- CORAS. P. M.1987. Características y propiedades físicas del suelo en relación con el riego. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo, México, p.99-101.
- CUENCA. R. H.1982. Reliable techniques for estimating evapotranspiration with limited data. Irrigation Association Technical Conference. Proceedings. p. 104-154.
- HANSEN. I. 1965. Principios y aplicaciones del riego. 2a. ed. Editorial Reverte S. A. p.224-251
- KIRILOVA T. L; MORALES C. T. 1989 Manual práctico de riego. Ediciones ISCAH - MES, La Habana. Cuba.
- PABON, S. H. 1985. Sistemas de riego en palma africana: Eficiencia y costos. Palmas (Colombia) v.6 no.1, p.38-40.
- SANTA OLALLA MAÑAS. F.; VALERO, M. 1993. Agronomía del riego. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid. 540p.