

EFFECTO DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y LA PRECIPITACIÓN SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LA PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis*) EN CENTROAMÉRICA¹

Norberto Durán,² Rubén A. Ortíz²

RESUMEN

Efectos de algunas propiedades físicas del suelo y la precipitación sobre la producción de la palma aceitera (*Elaeis guineensis*) en Centroamérica. La aeración del suelo y el déficit hídrico tienen gran influencia en la producción de palma aceitera en Centro América. Este estudio se realizó para identificar y cuantificar el efecto de las propiedades físicas del suelo y precipitación, sobre la producción de la palma aceitera en plantaciones del grupo Numar en Coto y Quepos (Costa Rica) y San Alejo (Honduras). Se evaluaron las siguientes características del suelo: textura, retención de humedad (pF), humedad gravimétrica, agua de drenaje, porosidad total, espacio aéreo, porcentaje de poros grandes, resistencia a la penetración y lectura de tensiómetro. Estas evaluaciones fueron realizadas en 20 lotes de cosecha (en cada localidad) ubicados dentro de unidades de suelos representativas, clasificados como bien drenados (Fluventic Eutropepts), imperfecto a moderadamente drenados (Fluvaquentic Eutropepts) y mal drenados (Tropaquepts). En San Alejo posee además suelos con baja saturación de bases (Dystropepts y Psamments). En esta plantación se analizaron 24 lotes adicionales para relacionar la producción con las unidades cartográficas. Se realizaron análisis de regresión y correlación en las tres localidades. Las principales limitantes de la producción fueron: baja aeración de los suelos en Coto; baja aeración de suelos y déficit hídrico en Quepos; baja aeración de suelos, baja saturación de bases y texturas arenosas en San Alejo.

ABSTRACT

Effect of some physical properties of the soil and rainfall on oil palm (*Elaeis guineensis*) production in Central America. The soil aeration and hydric shortage greatly influence oil palm yield in Central America. This assay was conducted to identify and quantify the effect of the physical properties of the soil and rainfall on the yield of oil palm orchards in Coto and Quepos (Costa Rica) and San Alejo (Honduras). The following soil characteristics were evaluated: texture, moisture retention (pF), gravimetric moisture, drain water, total porosity, aerial space, large pore percentage, penetration resistance and tensimeter readings. These evaluations were conducted on 20 fruit bearing plots (in each locality) located within representative soil units; classified as: a) well drained (Fluventic Eutropepts), b) imperfect or moderately drained (Fluvaquentic Eutropepts) and c) poorly drained (Tropaquepts). San Alejo also shows soils with low base saturation (Dystropepts and Psamments). Twenty four additional plots were analyzed in this latter orchard to relate their yield with the cartographic units. Regression and correlation analysis were run for the three localities. The main limiting factors on production were: poor soil aeration in Coto, poor soil aeration and hydric shortage in Quepos, and poor aeration, low base saturation and sandy textures in San Alejo.

INTRODUCCIÓN

La producción de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq) al igual que otros cultivos está en función de factores compuestos tales como: el suelo y el clima. El clima de las plantaciones de palma aceitera del Grupo Numar en

Centro América, es variado: Quepos presenta períodos de déficit hídrico y exceso de humedad en algunas áreas, en Coto excesos de precipitación y en Honduras, San Alejo muestra una condición intermedia. Los suelos de estas plantaciones son de origen aluvial y poseen problemas de drenaje en mayor o menor grado. En el caso de Quepos

¹ Presentado en la XL Reunión Anual del PCCMCA en Costa Rica, América Central. 13 al 19 de marzo, 1994.

² Departamento de Agronomía, Programa de Investigaciones en Palma Aceitera-ASO de Costa Rica. Apdo. 30-1000 San José, Costa Rica.

existen además, suelos gravosos con altos contenidos de arena, que retienen poca humedad dentro del perfil, y agravan el problema de déficit hídrico.

El déficit hídrico en palma aceitera, ocasiona doblamiento de hojas viejas, retraso en la producción de hojas, y un aumento en la tasa de aborción lo cual conduce a una baja producción (Hartley 1983; Umaña y Chinchilla 1991). Otro efecto de la sequía es la disminución de la absorción de nutrimentos por las raíces debido a una menor actividad de éstas y menor difusión de los nutrimentos en el suelo.

La condición de mal drenaje, es un problema común en las tres localidades, causado por alguna de las siguientes razones: altas precipitaciones, posiciones depresionales, recarga hidráulica, texturas contrastantes dentro del perfil y compactación o combinaciones de una o varias de ellas. El alto contenido de humedad en el suelo y la compactación reducen la difusión de oxígeno (Voorhees *et al.*, 1985) e induce una serie de reacciones químicas y biológicas dentro del suelo como son denitrificación, reducción del Fe, Mn y S (Fassbender y Bornemisza 1987; Hillel 1982) que afectan negativamente la producción. En Costa Rica, Peralta *et al.* (1985) determinaron que conforme la profundidad del nivel freático aumentaba, también se incrementaban los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio. Resultados similares obtuvieron Foster y Chang (1989) quienes indicaron que en suelos aluviales el factor más limitante en la producción de palma aceitera es la condición de drenaje. El objetivo de este estudio fue cuantificar el efecto de algunas propiedades físicas y la precipitación sobre la producción de palma aceitera en Centro América.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en tres plantaciones de palma aceitera del Grupo Numar; en Quepos y Coto en Costa Rica y San Alejo en Honduras. Las propiedades físicas del suelo analizadas fueron: retención de humedad a 1,5, 2,0, 3,5, 4,18 pF de succión, porosidad total, porcen-

taje de poros grandes, agua aprovechable, agua de drenaje, agua disponible, resistencia a la penetración y lectura de tensiómetros (humedad del suelo).

La medición de las propiedades físicas se realizó en los perfiles modales de cada unidad cartográfica (en 20 lotes de cosecha de cada localidad, con un área aproximada de 80 y 100 ha cada lote); las muestras fueron tomadas cada 10 cm hasta una profundidad de 60 cm. Los suelos se clasificaron como pobremente drenados (Aeric Tropaquepts), imperfecto a moderadamente drenados (Fluvaquentic Eutropepts) y bien drenados (Fluventic Eutropepts). San Alejo además presentó suelos de baja saturación de bases (Fluventic Dystropepts y Psaments).

En Coto y Quepos se instalaron tensiómetros a 45 cm de profundidad y se tomaron lecturas semanales para evaluar la aeración y succión de agua del suelo; se utilizó la succión promedio anual para establecer las correlaciones entre lectura de tensiómetro y producción. Los datos de rendimiento utilizados corresponden a registros, de tres períodos de 12 meses cada uno (1989-1990; 1990-1991; 1991-1992). Adicionalmente, se correlacionó la precipitación con la lectura de tensiómetro para establecer una relación con la producción pasada y futura.

El modelo de producción para Coto y Quepos se determinó utilizando un proceso de regresión "stepwise" (SAS, 1988) el cual incluye automáticamente en la ecuación solo aquellas variables que contribuyen significativamente en la variación de la producción. Comúnmente utiliza valores de probabilidad entre 10 y 15%. En este trabajo no se discuten las variables que no fueron estadísticamente significativas.

En San Alejo se determinó un promedio de producción de seis a nueve años en 44 lotes, para eliminar el efecto de edad, año y clima. Se determinaron tres rangos de producción t/ha/año: 1) 28,49-23,70, 2) 23,69-18,90, 3) 18,89-14,11 y se clasificaron los lotes de acuerdo a estos rangos y se ubicaron dentro del mapa de suelos para determinar la relación entre producción y los subgrupos

de suelos existentes de cada lote. Además se efectuó una caracterización física de unidades de suelos representativas ubicadas en 20 lotes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Coto

La producción de la palma aceitera presentó correlaciones negativas con lectura del tensiómetro (succión) en los períodos 1989-90 (-0,82), 1990-91 (-0,78) y 1991-92 (-0,91). La humedad gravimétrica, agua aprovechable y precipitación también mostraron correlaciones negativas para los mismos períodos (Cuadro 1).

Conforme la humedad del suelo se incrementó, la producción se disminuyó. La correlación entre la lectura de tensiómetro y precipitación fue de 0,53 ($P=0,0001$) lo que indicó que no existe una clara relación entre lectura del tensiómetro y precipitación. Esto se explica por las siguientes razones: 1) los suelos presentan condiciones físicas y fisiográficas que les permiten mantener altos los niveles de agua, aún varios días después que ha dejado de llover 2) los tensiómetros poseen un valor máximo de lectura de cero bajo condiciones de saturación, por ello pre-

cipitaciones que excedan estos niveles no son registrados por el tensiómetro.

En el cultivo de palma aceitera las condiciones climáticas y de manejo afectan la producción 24 meses después. Esto significa que las lecturas de humedad del período 1991-92 no pudieron afectar la producción de ese período. Sin embargo, debido a la alta correlación entre la precipitación del período 1989-90 y 1991-92 (0,76, $P=0,0001$) se puede inferir que la humedad del suelo fue similar para ambos períodos. Esto permitió determinar de manera indirecta que para el período 1991-92 existió una alta correlación negativa (-0,91, $P=0,0001$) entre la lectura del tensiómetro y producción (Cuadro 1).

En el análisis de regresión las únicas variables que resultaron significativas fueron: lectura tensiómetro, agua de drenaje, humedad gravimétrica y espacio aéreo. Los coeficientes parciales de regresión indicaron que la lectura de] tensiómetro (0,826, $P=0,0001$) fue la propiedad con mayor efecto en la producción, seguido por humedad gravimétrica (0,01), agua de drenaje (0,02) y espacio aéreo (0,09), el intercepto presentó una probabilidad de 0,006. El coeficiente de determinación (R^2) fue de 0,92 ($P=0,0001$), lo cual indica que el modelo explica el 92 por ciento de la variación en la producción.

Cuadro 1. Correlación producción VS variables físicas y precipitación en Coto.

VARIABLES	PRODUCCION t/ha ⁻¹			
	89-90	90-91	91-92	89-92
TENSIOMETRO 91-92	-0,82 (0,0002)	-0,77 (0,0006)	-0,91 (0,0001)	-0,87 (0,0001)
AGUA APROVECHABLE	-0,51 (0,05)	-0,48 (0,06)	-0,52 (0,04)	-0,52 (0,04)
HUMEDAD GRAVIMETRICA	-0,52 (0,05)	-0,54 (0,03)	-0,57 (0,03)	-0,56 (0,03)
PRECIPITACION 89-90	-0,49 (0,06)	NS	-0,50 (0,06)	-0,46 (0,08)
PRECIPITACION 90-91	NS	NS	-0,46 (0,08)	NS
PRECIPITACION 91-92	-0,40 (0,13)	NS	-0,46 (0,08)	NS

Valores entre paréntesis () equivalen a la probabilidad de acuerdo al análisis de correlación.

En la Figura 1 se relacionan tres propiedades físicas de los suelos (lectura del tensiómetro, humedad gravimétrica y agua de drenaje), con clases de producción, basadas en datos reales. Se establecieron 5 clases de producción: 1) 33 a 27, 2) 26,99 a 20,88, 3) 20,88 a 14,76, 4) 14,75 a 8,64, 5) < 8,64 t/ha/año. Donde el número 1 es la más favorable y conforme aumenta la clase también incrementa el grado de las limitaciones, hasta llegar a la clase 5 (la más adversa).

Esto tiene un carácter práctico para evaluar el potencial de producción de determinada área o lote. En el Cuadro 2 se presenta la producción real y estimada de 15 lotes de cosecha. Se eliminaron cinco lotes del análisis por falta de información confiable. El 40% de los lotes son clase 2, 26,67% clase 3, 26,67% clase 4 y 6,67% clase 5.

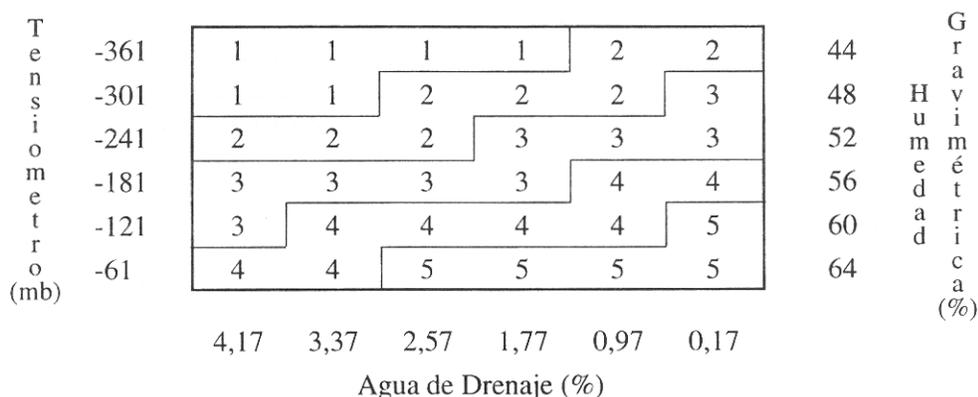
Quepos

Las relaciones entre producción y propiedades físicas son más complejas en Quepos que en Coto. Esto se debe a que se presenta gran variación en cuanto a la precipitación tanto dentro como entre años. Esta gran variación de la precipitación entre períodos hace que los factores de crecimiento (de suelo) como son la baja aeración y alta succión de agua del suelo sean limitantes en forma alterna. Por ejemplo, el período 1986-87 fue el más seco

(2,262 a 3,000) y por lo tanto las características óptimas para la producción fueron aquellas que favorecieron mayor conservación del agua del suelo (alta succión, posiciones depresionales). Lo contrario sucedió en la producción del período 91-92, afectada por una alta precipitación del período 89-90(3,736 a 5,236), que provocó una baja aeración del suelo. Por lo tanto las características óptimas para la producción fueron aquellas que favorecieron una alta aeración del suelo. Otro aspecto importante es que la plantación de Quepos posee una distancia de 60 kilómetros de un extremo a otro y en esta distancia pasa de un régimen (de humedad de suelo) Udico a otro Ustico.

Esto demuestra que las características de un suelo bajo las condiciones de Quepos, pueden ser óptimas o no dependiendo de las condiciones climáticas. Por lo tanto, es importante aumentar el número de observaciones (lotes) por zona a fin de hacer inferencias más confiables. Además, si se utiliza riego debe existir un buen balance entre el riego y el drenaje.

Lo anterior explica la variación del signo de las correlaciones en el tiempo. Por ejemplo, la correlación entre la producción del período 1989-90 y humedad gravimétrica (0,69), espacio aéreo (-0,41), poros grandes (-0,46) muestran que la producción decrece cuando las



ECUACION DE REGRESION
 $Y=2.32104-0.004082(X_1)+0.21304205(X_2)-0.0363493(X_3)-0.028382(X_4)$
 X_1 Lectura de tensiómetro, X_2 agua de drenaje, X_3 humedad gravimétrica, X_4 espacio aéreo

Fig. 1. Relación entre propiedades físicas del suelo y producción, División de Coto.

Cuadro 2. Producción real y estimada, a partir de la ecuación de regresión y parámetros utilizados, Coto.

Lote	Tensiómetro X1	Agua de drenaje X2	Humedad gravimétrica X3	Espacio aéreo X4	Producción real t/ha/año 91-92	Producción estimada t/ha ⁻¹ 91-92	Diferencia
14	-263,00	2,34	55,00	6,55	18,80	20,50	-1,68
8	-62,00	1,18	54,76	3,28	8,69	8,93	-0,23
45	-93,77	1,94	61,25	5,51	11,09	8,81	2,28
118	-321,50	1,21	58,99	4,96	21,70	19,27	2,43
49	-139,70	2,25	61,61	5,70	11,27	11,62	-0,35
114	-242,90	4,17	60,64	12,07	20,82	19,85	0,98
69	-106,90	1,88	57,33	8,98	7,96	9,82	-1,87
71	-161,40	1,50	55,02	3,98	14,63	9,43	5,20
73	-273,50	1,44	44,51	1,88	19,08	20,98	-1,91
108	-189,10	1,56	47,01	6,56	19,57	18,37	1,21
97	-259,70	2,85	51,50	6,39	22,79	23,24	-0,45
104	-360,50	1,46	54,32	4,72	20,92	23,94	-3,02
110	-297,20	2,28	49,42	4,64	23,39	25,10	-1,70
69	-82,54	1,78	63,26	3,58	5,84	7,64	-1,80
107	-282,50	1,61	50,94	5,65	24,17	21,66	2,52

$$\text{Ecuación de regresión } Y = 2,32104 - 0,004082X_1 + 0,21304205X_2 - 0,0363493X_3 - 0,028382X_4$$

características del suelo que afectan la humedad de este, favorecen una baja humedad (Cuadro 3). Sin embargo, para el período 1991-92 las correlaciones entre producción y limo (-0,42), densidad aparente (0,43), porosidad total (-0,44), mostraron lo contrario, la producción decrece cuando la humedad del suelo aumenta.

San Alejo

En general la plantación de San Alejo presentó correlaciones negativas entre la producción y retención de humedad, agua aprovechable y porosidad total (Cuadro 4). Esto indicó que conforme la humedad de suelos se incrementa la producción decrece. De los 20 lotes evaluados se determinó que aquellos suelos que presentaban familias texturales franco gruesas, mostraron la mayor producción, debido probablemente a una adecuada aeración del suelo (Cuadro 5).

Además, se determinó que las clases de producción coincidían con los tipos de suelos, de la siguiente manera (Cuadro 6):

Clase 1: ninguno de los lotes de esta clase (a excepción del 1 C y 3C) poseen en alguna proporción suelos con drenaje pobre (Tropaquepts) ni bajos en saturación de bases (Dystropepts). Sin embargo, muestran algunas características hidromórficas (excesos de agua), probablemente de poca magnitud. Los suelos dominantes de esta clase se clasifican como bien drenados (Typic Eutropepts), moderadamente drenados (Aquic Eutropepts) y poseen alta saturación de bases.

Clase 2: los lotes de esta clase presentan dos unidades de suelos dominantes con drenaje de imperfecto a moderado y baja fertilidad (Aquic Eutropepts y Aquic Dystropepts). A excepción de los lotes 8A, 1C, 13B, 15D y 8D esta clase de producción, no presenta suelos pobremente drenadas (Tropaquepts).

Clase 3: En su mayoría los lotes pertenecientes a esta clase, poseen suelos con serios problemas de drenaje como los Tropaquepts y de baja fertilidad como los Dystropepts. En el caso de los lotes 1B, 2B, 5B, 6B y 7B se presentan combinaciones de factores negativos a la

Cuadro 3. Correlación entre producción y propiedades físicas del suelo, Quepos, Costa Rica.

Propiedades físicas y Precipitación	Producción			Acumulado 89-92
	89-90	90-91	91-92	
Porcentaje de Limo	-	-	-0,420 (0,13)	-0,410 (0,14)
Humedad Gravimétrica	0,690 (0,038)	-	-	-
Espacio Aéreo	-0,410 (0,14)	-	-	-
Porcentajes de poros gruesos	-0,460 (0,09)	-	-	-
Densidad aparente	-	-	-0,430 (0,12)	-
Porosidad total	-	-	-0,440 (0,11)	-
Precipitación periodo 89-90	-	-	-0,550 (0,04)	-0,450 (0,10)
Precipitación periodo 91-92	-	-	-	-
Edad	0,80 (0,0001)	-	-	-

Valores entre paréntesis () equivalen a la probabilidad, según el análisis de correlación.

Cuadro 4. Correlación entre producción y propiedades físicas de suelos de 20 lotes de cosecha. San Alejo-Honduras.

Propiedades físicas	Producción			
	89	90	91	92
pF 1,0	-	-	-0,36 (0,11)	-0,31 (0,17)
pF 1,5	-	-	-0,39 (0,08)	-0,33 (0,16)
pF 2,0	-	-	-0,38 (0,10)	-
Agua aprovechable	-	-0,39 (0,08)	-	-
Porosidad total	-	-0,46 (0,04)	-0,45 (0,04)	-0,43 (0,05)

Valores entre paréntesis () equivale a la probabilidad, según el análisis de correlación

Cuadro 5. Producción promedio del periodo 89-90, clase de producción y familia textural de 20 lotes de cosecha, San Alejo, Honduras.

Lote	Año de siembra	Clase	Familia textural	Producción t/ha/año
10A	76	1	Franco grueso	25,50
3D	80	1	Franco grueso	28,49
5C	74	1	Franco grueso	23,78
1C	81	1	Franco grueso	24,20
6C	73	1	Franco grueso	27,16
14A	82	2	Franco grueso	23,01
14C	76	2	Franco grueso	22,69
10D	75	2	Arenosa	19,58

Continúa...

Continuación Cuadro 5.

Lote	Año de siembra	Clase	Familia textural	Producción t/ha/año
13C	75	2	Arenosa	20,90
15C	82	3	Arenosa	17,60
5D	69	3	Arenosa	18,35
16C	79	2	Franco fino	21,01
11B	80	3	Franco fino	17,68
1C	81	1*	Franco fino	24,20
7D	78	2	Limo fino	20,56
8D	78	2	Franco fino	22,81
12C	69	3	Arenosa	16,22
12D	75	3	Limo fino	18,72
13D	80	1*	Franco fino	23,68
10C	68	3	Franco grueso	15,71

Cuadro 6. Variedad, producción promedio, años de producción y clases de producción de 44 lotes de cosecha, San Alejo.

Lote	Variedad/año de siembra	Producción promedio t/ha/año	Años de promediados	Periodo (Edad)	Clase
9A	DxPAV 82	21,03	7	3-10	2
8A	DxPAV 80	23,08	8	4-12	2
13A	DxPAV 82	19,52	6	4-10	2
14A	DxPAV 82	23,01	9	4-12	2
9B	DxPAV 80	22,80	9	4-12	2
10B	DxPAV 80	19,10	8	4-12	2
11B	DxPAV 80	17,68	10	4-13	3
12B	DxPAV 80	20,85	9	4-12	2
13B	DxPAV 80	20,96	9	4-12	2
14B	DxPAV 80	19,86	9	4-12	2
1C	DxPCO 81	24,20	8	4-11	1
3C	DxPCO 81	24,49	8	4-11	1
15C	DxPCO 82	17,60	9	3-11	3
13D	DxPCO 80	23,88	9	5-13	2
11A	DxPAV 79	26,40	9	5-13	1
3D	DxPCO 80	28,49	9	5-13	1
1B	DxD 64	17,99	6	20-25	3
2B	DxD 64	16,90	6	20-25	3
5B	DxD 63	16,00	6	21-26	3
6B	DxD 63	14,12	7	21-27	3
7B	DxD 64	16,96	6	20-25	3

Continúa...

Continuación Cuadro 6

Lote	Variedad/año de siembra	Producción promedio t/ha/año	Años de promediados	Periodo (Edad)	Clase
4B	DxPAV 77	20,90	9	7-15	2
1D	DXPCO 79	23,29	9	6-14	2
6D	DxPCO 78	22,49	9	7-15	2
8D	DxPCO 78	22,81	9	7-15	2
10A	DxPHO 76	25,51	9	8-17	1
4C	DxPCMA 74	23,57	9	10-18	2
5C	DxPCMA 77	23,78	9	10-18	1
6C	DxPCMA 73	27,16	9	11-19	1
7C	DxPCMA 73	22,77	9	11-19	2
8C	DxPCMA 73	21,51	9	11-19	2
19C	DxPMAL 71	23,03	9	13-21	2
17C	DxPMAL 71	16,71	5	13-18	3
18C	DxPMAL 71	19,89	9	13-21	2
9D	DxPMAL 71	17,48	8	14-21	3
14D	DxPMAL 71	22,87	8	14-21	2
15D	DxPMAL 71	21,60	8	14-21	2
11D	DxPMAL 71	19,35	8	14-21	2
10C	DxTHO 68	15,71	9	16-24	3
5D	DxDHO 69	18,35	9	16-24	3
12A	DxTHO 67	20,40	9	17-25	2
3B	DxTHO 67	14,80	6	17-22	3
8B	DxD 65	15,47	7	19-25	3
2C	DxDHO 65	18,78	7	19-25	3

producción tales como material genético, edad de la plantación y suelos que hacen que la clase de producción sea tres. Esta condición puede variar si se realizan mejoras durante la resiembra en cuanto a drenajes, labranza y material genético.

CONCLUSION

Se concluyó que las principales limitantes en la producción de palma aceitera en estas plantaciones de América Central fueron: baja aeración de los suelos en Coto; baja aeración de suelos y déficit hídrico en Quepos; baja aeración de suelos, baja saturación de bases y texturas arenosas en San Alejo.

LITERATURA CITADA

- FASSBENDER, H.; BORNEMISA, E. 1987 Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina 2a ed. rev. IICA, San José, Costa Rica.
- FOSTER, H.; CHANG, K. 1989. Factor limiting oil palm yield in Peninsular Malaysia. *Oleagineux*, 44 (1): 1-7.
- HARTLEY, C. W. 1983. La palma de aceite. Compañía Editorial Continental S.A. MEXICO D.F. p. 223.
- HILLEL, D. 1982. Introduction to soil physics. Academic Press, Inc. (London) Ltd, San Diego, California. pp. 136-137.
- PERALTA, F.; V ASQUEZ, O.; RICHARDSON, D.; ALVARADO, A.; BORNEMISA, E. 1985. Effect of some physical characteristics on yield, growth and nutrition, of the oil palm in Costa Rica. *Oleagineux* 40(8-9) 423 - 428.
- SAS. INSTITUTE INC. 1988. SAS/STAT[®] User's guide, release 6.03 Ed. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- UMAÑA, C.; CHINCHILLA, C. 1991. Symptomatology with water deficit in oil palm ASD Tech. Bull. N° 3
- VOORHES, W.; EVANS, S.; WARNES, D. 1985. Effect of pre-plant wheel traffic on soil compaction, water use, and growth of spring wheat *Soil Sci* 92: 324 - 321.