

RESPUESTAS FISIOLÓGICAS DE PALMAS DE VIVERO A LA APLICACIÓN DE RESIDUOS DE LA PLANTA EXTRACTORA

II. Modelos y tasas de crecimiento

PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF NURSERY PALMS TO OIL MILL WASTES APPLICATION

II. Growth Models and Rates

AUTORES

Camilo A. Cortés G.

Ingeniero agrónomo.
Universidad Nacional de Colombia.
cacortesg@unal.edu.co

Daniel G. Cayón S.

Ingeniero agrónomo M. Sc.
Profesor asociado Facultad de
Agronomía. Universidad Nacional de
Colombia. dgcayons@unal.edu.co

Victor H. Aguirre

Ingeniero agrónomo. Jefe de
Cultivo Palmar Santa Elena S.A.
Jefe_cultivo_pse@hotmail.com

Bernardo Chaves C.

Estadístico. Profesor asociado
Facultad de Agronomía. Universidad
Nacional de Colombia.
bchavesc@unal.edu.co

Palabras CLAVE

Crecimiento, efluentes, lodos,
área foliar, área foliar específica

Growth, effluents, mud, leaf
area, specific leaf area

Recibido: 10 octubre 2006
Aprobado: 17 octubre 2006

RESUMEN

La utilización de los residuos del proceso de extracción de aceite de palma en campo es ampliamente conocida y documentada; sin embargo, su utilización en palmas de vivero como suplemento nutricional es aún desconocido. En el presente trabajo se compararon algunas alternativas de uso de estos residuos en palmas de vivero Ténera. Los resultados indicaron que la aplicación del efluente líquido proveniente de una laguna de oxidación aeróbica, en forma de riego y lodo seco de lechos de secado en corona en el plato de la bolsa acompañados de la fertilización normal incrementaron significativamente el área foliar, el diámetro del bulbo y la altura de la planta con respecto a las palmas que se les aplicó únicamente fertilización normal. Los efluentes causaron mayor velocidad (Tasa absoluta de crecimiento) por más tiempo (Tasa relativa de crecimiento) lo cual generó palmas de mayor crecimiento y desarrollo y hojas más gruesas. Se ajustó un modelo logístico de incremento del área foliar indicando que la aplicación continua de efluente líquido (1.000 cm^3 + fertilización normal) incrementó diariamente el área foliar en $0,04 \text{ cm}^2 \text{ día}^{-1}$. La mezcla de suelo y lodo seco, en las proporciones evaluadas, no mejoró el crecimiento y desarrollo de las palmas.

SUMMARY

The use of the oil mill wastes in the field is very well known, but its use in nursery palms like nutritional supplement is already unknown. In this research were compared different alternatives in order to use residues in the nursery palms Tenera. The results show that the applications of liquid effluents from the oxidation lakes as watering and of the dry mud from dried beds, applied in crown form around the plastic bag with normal fertilization, increased the leaf area, enlarged basal bulb and also increased high plant



more than the palms handled only with normal fertilization. These increases were faster (absolut growth rate) and longer (relative growth rate) than the other treatments. Furthermore, this treatment produced plants with leaves thickness and best growth and development. A logistic model of leaf area was fitted to the mentioned variables and showed that frequently applications of liquid effluent + normal fertilization ($1,000 \text{ cm}^3$) increased leaf area $0.04 \text{ cm}^2 \text{ day}^{-1}$. The application of mixture of soil and dry mud in the evaluated proportions didn't improve the growth and development of the palms.



INTRODUCCIÓN

El análisis de crecimiento es un método que describe las variaciones morfofisiológicas de una planta en diferentes intervalos de tiempo y es útil para la interpretación de los efectos de fenómenos ecológicos sobre el crecimiento, adaptabilidad de especies, competencia y capacidad productiva. El primer paso para iniciar el análisis de crecimiento de plantas es realizar un gráfica donde el eje Y representa la característica de crecimiento medida y el eje X el tiempo calendario fisiológico. Es típico observar en el gráfico que en las primeras mediciones el crecimiento es lento, luego hay una etapa de crecimiento rápida hasta alcanzar un máximo, para luego descender en la etapa de la senescencia del órgano considerado (Chaves, 2006).

Las características de la palma de aceite de presentar el estúpido y el punto vegetativo de crecimiento simple y un arreglo regular de hojas han facilitado el desarrollo de sistemas de medidas para evaluar la productividad y acumulación de materia seca de la planta (Corley *et al.*, 1971). No obstante, por razones obvias, estas medidas destructivas no pueden ser ampliamente usadas, por lo cual se desarrollaron métodos no destructivos de estimación del área foliar y producción de materia seca que son más económicos y rápidos y permiten la generación de modelos matemáticos de crecimiento (Corley *et al.*, 1971). Los modelos matemáticos de crecimiento proveen valores estimados de datos que posteriormente se pueden usar para derivar valores instantáneos que expliquen el comportamiento del crecimiento de las plantas, con el propósito de describir la realidad de un proceso de manera interpretable y permite la abstracción de la variable que se quiere evaluar y está influyendo en el creci-

miento (Hunt, 1982). Ma., *et al* (2004), mediante un modelo lineal, encontraron una alta correlación ($R = 0,98$) entre el área foliar y la masa foliar en hojas de palma y que esta última era excelente para estimar el área foliar. El objetivo de este trabajo fue analizar el crecimiento de las palmas de vivero con la aplicación de residuos del proceso de extracción y ajustar un modelo matemático que explique el efecto de estos residuos sobre el crecimiento.

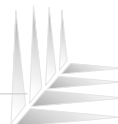
MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en un vivero de la empresa Palmar Santa Elena S.A. ubicado en la vereda Candelillas del municipio de San Andrés de Tumaco (Nariño, Colombia), 20 m.s.n.m, 26°C de temperatura media, 88% humedad relativa, 3.000 mm año⁻¹ precipitación media y 1.008 h año⁻¹ de brillo solar (Corpoica, 2005). Se seleccionaron 10 plántulas de palma híbrido Ténera de vivero de cuatro meses de edad por uniformidad en tamaño, vigor, número de hojas y cuyo sustrato no estuviera mezclado con lodo seco. En la Tabla 1 se relacionan los tratamientos aplicados.

Los tratamientos se distribuyeron en el campo de acuerdo con un diseño completamente al azar (DCA), con 10 tratamientos 10 palmas por repetición. Para el análisis de los datos de las variables fisiológicas se

Tabla 1. Tratamientos y dosis de residuos aplicados por palma

Tratamientos	Dosis palma ⁻¹
1. Efluente + fertilización normal	1.000 cm ³
2. Efluente + fertilización normal	500 cm ³
3. Lodo seco en corona + fertilización normal	250 g
4. Lodo seco en corona + fertilización normal	150 g
5. Lodo seco mezclado con suelo + fertilización normal	100%
6. Lodo seco mezclado con suelo + fertilización normal	50%
7. Fertilización normal	Tabla 2
8. Efluente sin fertilización	1.000 cm ³
9. Lodo seco en corona sin fertilización	250 g
10. Lodo seco mezclado con suelo sin fertilización	100%


Tabla 2. Plan de fertilización aplicado a las palmas de vivero tratadas

Edad (meses)	Fuente	g palma ⁻¹
1	Nitrobor ® Foliar	0,1
1	Sulfato de Mg	0,2
1	KCl	0,2
1	DAP-foliar	0,1
2	Nitrobor® Foliar	0,1
2	Sulfato de Mg	0,2
2	KCl	0,2
2	DAP-foliar	0,1
2	DAP granulado	5
3	Nitrobor ® Foliar	0,1
3	Sulfato de Mg	0,2
3	KCl	0,2
3	DAP-foliar	0,1
3	DAP granulado	20
4	SO ₄ Mg foliar	0,2
4	DAP foliar	0,1
4	KCl foliar	0,2
4	Nitrobor ® foliar	0,1
4	14-15-30-2	15
5	DAP foliar	0,15
5	Borax-granulado	1
5	SO ₄ Mg foliar	0,2
5	Borax foliar	0,05
6	DAP	20
6	DAP	10
6	13-11-24-2	10
7	DAP	20
8	13-11-24-2	30
8	13-11-24-2	20
9	Boro	2
10	15-30-24-2	20

utilizaron los promedios quincenales y mensuales de cada variable tomados durante todo el período experimental. El análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico SAS V.9. Para describir el comportamiento de la altura y el diámetro del bulbo basal se realizaron modelos de regresión lineal y para el comportamiento del área foliar a lo largo del tiempo se ajustaron los datos al modelo matemático de crecimiento logístico $Y = \hat{a} / (1 + e^{-k(1-\hat{a})})$ que permite estimar un máximo de crecimiento alcanzado ($\hat{a}$), la velocidad diaria de crecimiento (k) y el tiempo en el cual las palmas alcanzaron su máxima tasa absoluta de crecimiento del área foliar ($\hat{a}$) (Chaves, 2006). A partir de este modelo se derivaron tasas máximas, absolutas y relativas de crecimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de planta y diámetro de bulbo basal

En las ecuaciones de regresión del modelo de regresión lineal ($y = mx + b$) (Tabla 3), el coeficiente de regresión (m) determina la velocidad de crecimiento o incremento de la altura o diámetro de las plantas, en función del tiempo después de la siembra en el vivero (días después de siembra, DDS). Las ecuaciones respectivas muestran que, por cada día que transcurrió, las palmas tratadas con efluente líquido + fertilización normal (tratamiento 1) crecieron en promedio 1,3 mm y engrosaron su bulbo basal 0,4 mm; igualmente, la velocidad de crecimiento en altura y diámetro para las palmas tratadas con lodo en corona en el plato + fertilización (tratamientos 3 y

Tabla 3. Modelos de crecimiento en altura de planta y desarrollo del bulbo basal en palmas de vivero fertilizadas con residuos de la planta extractora

Tratamientos	Dosis palma ⁻¹	Altura (cm)		Diámetro bulbo (cm)	
		Modelo	R ²	Modelo	R ²
1. Efluente líquido + fertilización normal	1.000 cm ³	$y = 0,13x - 12$	0,9	$y = 0,04x - 3,6$	0,9
2. Efluente líquido + fertilización normal	500 cm ³	$y = 0,12x - 9,7$	0,9	$y = 0,04x - 3,3$	0,9
3. Lodo seco en corona + fertilización normal	250 g	$y = 0,12x - 9,3$	0,9	$y = 0,04x - 3,1$	0,9
4. Lodo seco en corona + fertilización normal	150 g	$y = 0,1x - 7,3$	0,8	$y = 0,03x - 2,6$	0,8
5. Lodo seco mezclado con suelo + fertilización normal	100%	$y = 0,08x - 5,7$	0,9	$y = 0,02x - 2,2$	0,9
6. Lodo seco mezclado con suelo + fertilización normal	50%	$y = 0,06x - 4,1$	0,7	$y = 0,02x - 1,6$	0,8
7. Fertilización normal	Tabla 2	$y = 0,1x - 7,3$	0,8	$y = 0,03x - 2,8$	0,9
8. Efluente líquido sin fertilización	1.000 cm ³	$y = 0,09x - 4,9$	0,9	$y = 0,03x - 2,5$	0,9
9. Lodo seco en corona sin fertilización	250 g	$y = 0,08x - 3,2$	0,9	$y = 0,03x - 2$	0,9
10. Lodo seco mezclado con suelo sin fertilización	100%	$y = 0,04x + 0,2$	0,4	$y = 0,01x - 0,9$	0,4

4) también fueron superiores al testigo y a las palmas tratadas con lodo seco mezclado con suelo + fertilización (tratamientos 5 y 6) Las dinámicas del crecimiento de la altura (Figura 1) y del bulbo basal (Figura 2) muestran que en los primeros días (b) (120

DDS) estos tratamientos presentaban altura y diámetro inferiores a los de las palmas tratadas con efluente líquido y lodo seco en corona sin fertilización (tratamientos 8 y 9), pero después indujeron un incremento más acelerado que les permitió duplicar el

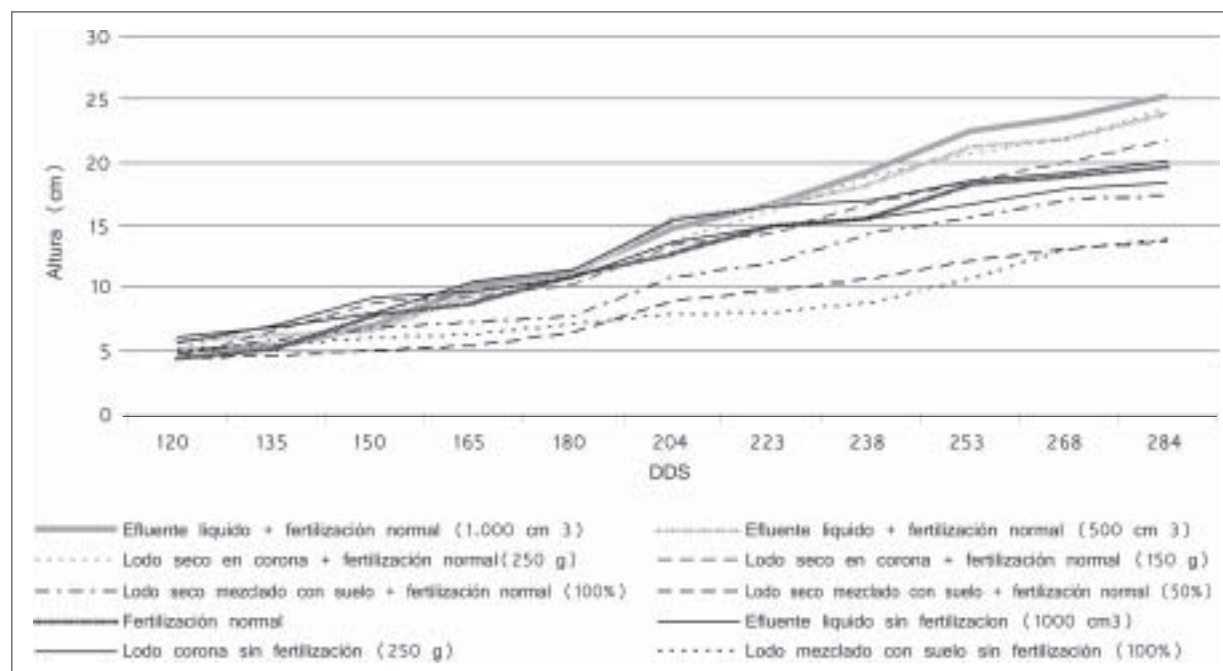


Figura 1. Crecimiento de palmas de vivero fertilizadas con residuos de la planta extractora.

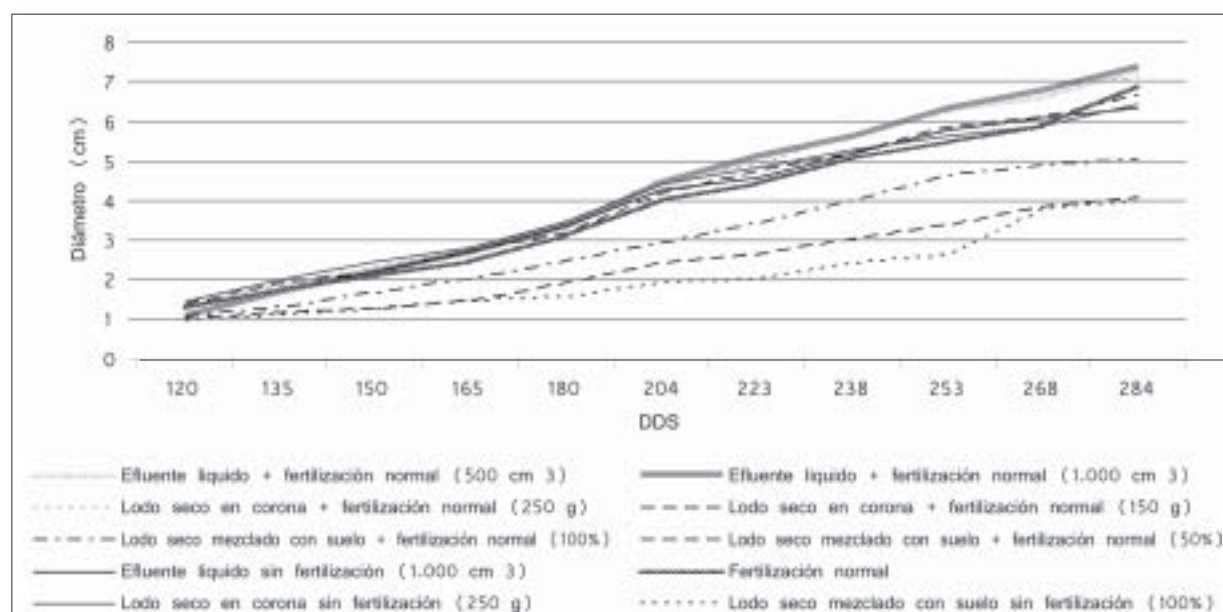
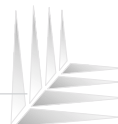


Figura 2. Desarrollo del bulbo basal en palmas de vivero fertilizadas con residuos de la planta extractora.



crecimiento diario que presentaban las palmas sembradas en el lodo seco mezclado con suelo (tratamiento 10). Lo anterior, sugiere que la aplicación de efluente líquido y lodo en corona en el plato, en las dosis mencionadas, aceleraron el engrosamiento del bulbo basal y el crecimiento de la planta.

Incremento del área foliar

Las palmas tratadas con efluente líquido + fertilización (tratamientos 1 y 2) incrementaron aceleradamente su área foliar, a una velocidad mayor que el testigo sin residuos (tratamiento 7) y el resto de tratamientos (Tabla 4). Debido a la velocidad de incremento en área foliar, las palmas de este tratamiento estuvieron listas para transplante a sitio definitivo en sólo 10 meses, mientras que, palmas con manejo convencional del vivero (de acuerdo con los criterios de la plantación) generalmente tardan en promedio 12 meses en salir a sitio definitivo. Por otra parte, los tratamientos de efluente líquido + fertilización (tratamientos 1 y 2) y lodo seco en corona + fertilización (tratamientos 3 y 4) duplicaron la máxima área foliar alcanzada por las palmas sembradas en lodo seco en corona sin fertilización (tratamiento 9). En forma similar, las palmas tratadas con efluente líquido + fertilización (tratamientos 1 y 2) lograron su máxima tasa absoluta de crecimiento en menos tiempo que el resto de los tratamientos.

Debido a la aplicación del efluente líquido (tratamientos 1 y 2) y el lodo seco (tratamientos 3, 4), las palmas no solo incrementaron más aceleradamente el área foliar que el testigo (fertilización normal) y el resto de tratamientos. Esto indica mayor acumulación de masa foliar en menor tiempo, mayores tasas

fotosintéticas, mejor eficiencia en crecimiento y desarrollo y, en consecuencia, que las palmas, posiblemente, estén menor tiempo en los viveros reduciendo los costos de mantenimiento de los mismos. Además, se puede disminuir la contaminación de fuentes de agua y se reducen los costos del manejo de estos residuos en las plantas extractoras. La Figura 3 muestra que las palmas sembradas en lodo seco mezclado con suelo (tratamientos 5, 6 y 10) no lograron el área foliar máxima en el modelo logístico hasta 276 DDS. Como el modelo trata de estimar y ajustar un área máxima, ($\hat{a}$) presenta valores sesgados y ($\hat{a}$) muestra valores superiores al tiempo de evaluación donde se esperaba que lograran la máxima ($\hat{a}$); las palmas de estos tratamientos presentaron un comportamiento lineal y mostraron atrasos en desarrollo y crecimiento atribuidos a la mezcla con el lodo seco en las proporciones evaluadas. En contraste, las palmas tratadas con efluente líquido + fertilización (tratamientos 1 y 2) y lodo seco en corona + fertilización (tratamiento 3) sí alcanzaron la máxima área foliar durante el tiempo de evaluación. Por esto, sería relevante hacer experimentos incrementando las dosis de fertilización química en los meses en donde se obtuvieron los mayores incrementos del área foliar (séptimo y octavo) para lograr mayores incrementos en la masa foliar.

Tasa absoluta de incremento en área foliar

La tasa absoluta de incremento en área foliar expresa el aumento diario del área foliar de la palma. Como se puede observar en la Figura 4, el mayor incremento diario (ganancia) lo alcanzaron las palmas tratadas con efluente líquido + fertilización (tratamiento 1); sin embargo, la aplicación de este

Tabla 4. Modelos logísticos de incremento del área foliar en palmas de vivero fertilizadas con residuos de la planta extractora

Tratamientos	Dosis palma ⁻¹	Modelo
1. Efluente líquido + fertilización normal	1.000 cm ³	2.886,3/ (1 + exp (-0,04* (dds-236,2)))
2. Efluente líquido + fertilización normal	500 cm ³	2.715,4/ (1 + exp (-0,03* (dds-240,8)))
3. Lodo seco en corona + fertilización normal	250 g	2.999,2/ (1 + exp (-0,02* (dds-251,6)))
4. Lodo seco en corona + fertilización normal	150 g	2.696,4/ (1 + exp (-0,03* (dds-259,1)))
5. Lodo seco mezclado con suelo + fertilización normal	100%	5.854,5 (1 + exp (-0,02* (dds- 400,7)))
6. Lodo seco mezclado con suelo + fertilización normal	50%	11.286,6/ (1 + exp (-0,02* (dds- 472,6)))
7. Fertilización normal	Tabla 2	2.402,4/ (1 + exp (-0,03* (dds-256,5)))
8. Efluente líquido sin fertilización	1.000 cm ³	2.012,2/ (1 + exp (-0,04* (dds-235,1)))
9. Lodo seco en corona sin fertilización	250 g	2.809,3/ (1 + exp (-0,02* (dds-284)))
10. Lodo seco mezclado con suelo sin fertilización	100%	1.221,6/ (1 + exp (-0,02* (dds-295,2)))

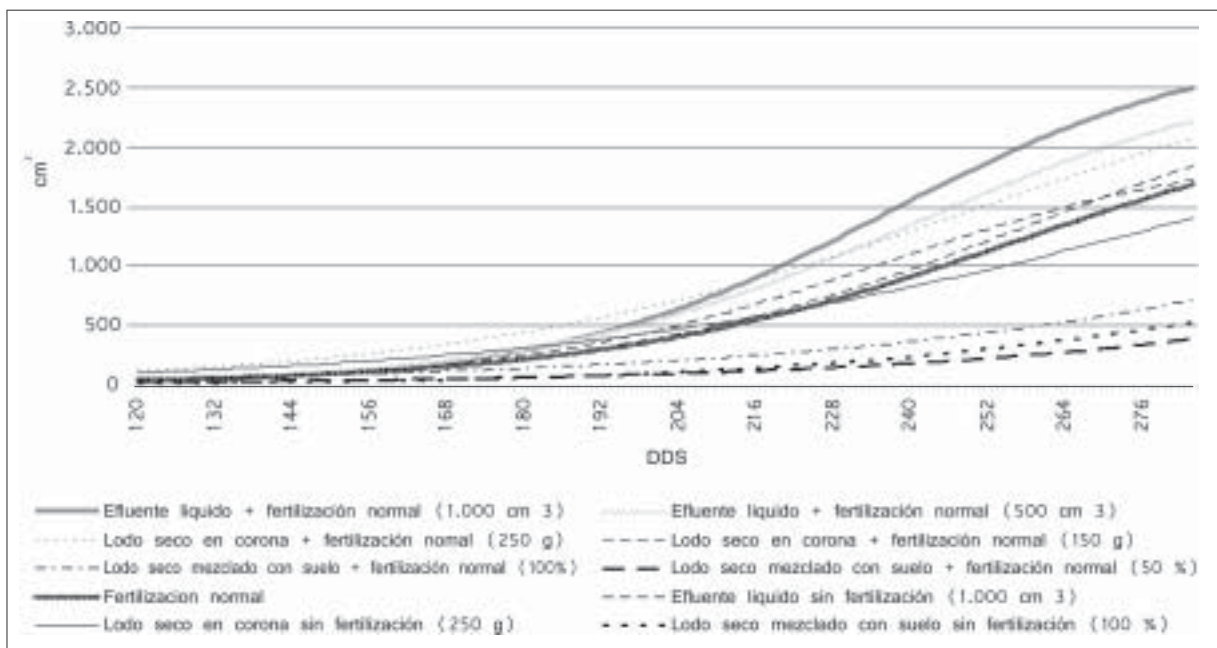


Figura 3. Modelos logísticos de incremento del área foliar.

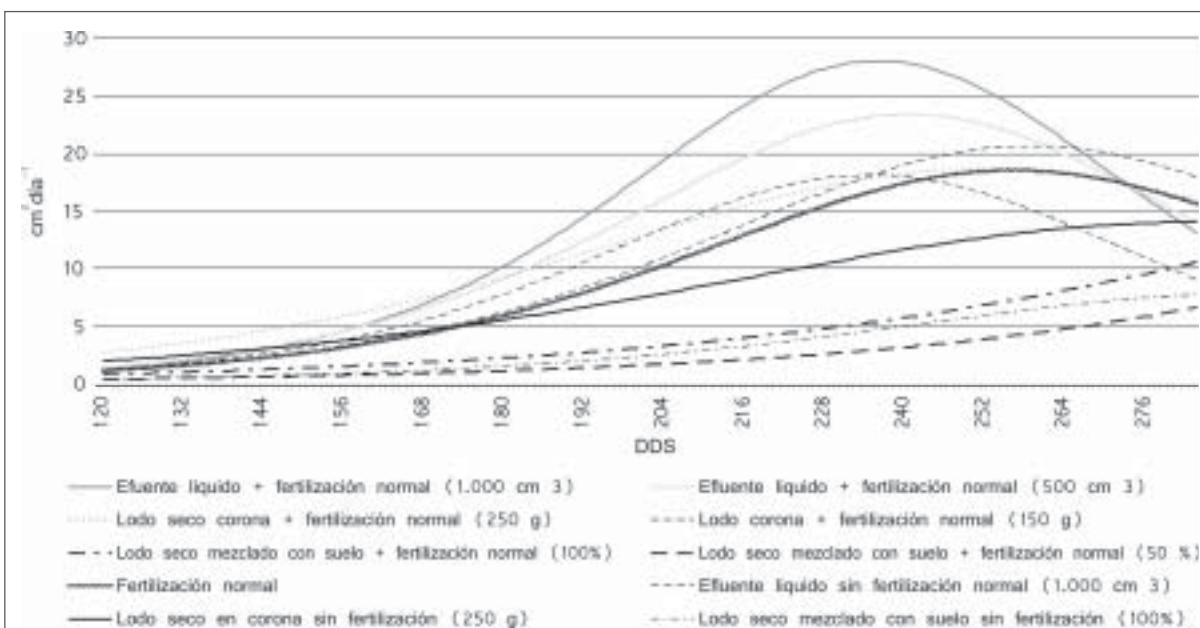
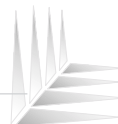


Figura 4. Tasa absoluta de incremento del área foliar en palmas de vivero fertilizadas con residuos de la planta extractora.

mismo residuo en menor dosis (tratamiento 2) también produjo incrementos diarios altos, lo cual comprueba el efecto del efluente sobre el desarrollo de las hojas y explica porqué su aplicación, junto con la fertilización normal, generó mayor área foliar y altura

de las palmas. El período de incremento máximo del área foliar en las palmas de estos tratamientos (156 – 216 DDS) coincidió con la fase de mayor crecimiento y elongación de la planta, lo cual sugiere una estrecha relación con los contenidos minerales

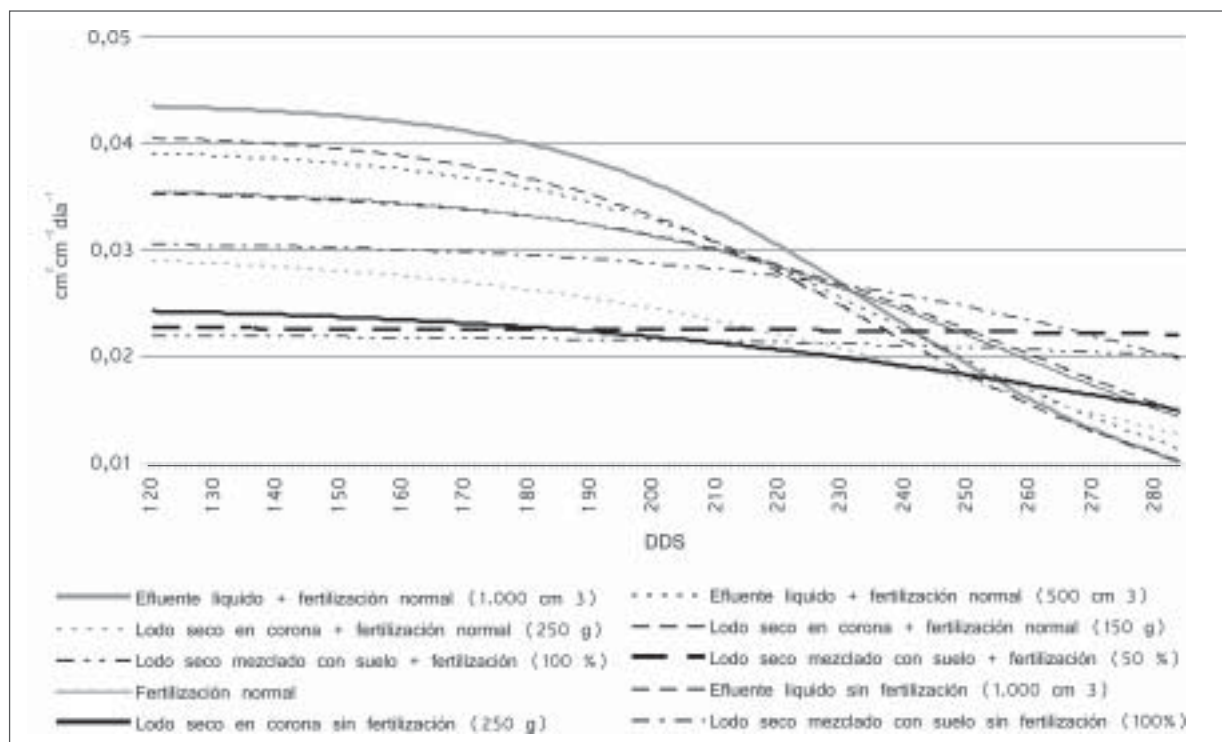


del suelo. En tabaco (*Nicotiana tabacum*), Moustakas *et al.*, (2005) encontraron resultados similares ya que la relación entre el periodo de máxima acumulación de materia seca coincidió con la fase de máximo crecimiento y elongación de la planta y se relacionó con la disponibilidad de nutrimentos en el suelo.

Las palmas sembradas en lodo seco mezclado con suelo (tratamientos 5, 6 y 10) presentaron únicamente crecimiento lineal (Figura 4), lo cual puede estar relacionado con un inapropiado suministro nutricional que afectó las tasas de crecimiento, el desarrollo del área foliar, la tasa fotosintética y causó atrasos en crecimiento y desarrollo. Teniendo en cuenta que en las palmas fertilizadas con efluente líquido + fertilización (tratamientos 1 y 2) y lodo seco en corona + fertilización (tratamientos 3 y 4) la tasa absoluta de incremento diario del área foliar se redujo drásticamente a los 246 DDS (8 meses) (Figura 4), se pueden planear estrategias de manejo del vivero para optimizar la aplicación de fertilizantes en los meses próximos a lograrse el máximo incremento del área foliar (sexto y séptimo).

Tasa relativa de incremento en área foliar

Como el modelo logístico de crecimiento expresa que el incremento del área foliar está en función del tiempo, la tasa relativa de crecimiento puede ser calculada con la primera derivada de esta ecuación. Esta tasa ilustra el incremento del área foliar en el tiempo con respecto a un área foliar actual, y sirve para comparar el crecimiento relativo de las palmas (Chaves, 2006). Así, las palmas tratadas con efluente líquido + fertilización (tratamientos 1 y 2) presentaron un incremento más acelerado y constante del área foliar que el testigo () y el resto de tratamientos (Figura 5). Este cambio diario instantáneo va disminuyendo a medida que el área foliar aumenta, hasta un punto a partir del cual se reduce el incremento con mayor velocidad. Esto quiere decir que mientras las palmas tratadas con efluente líquido + fertilización (tratamientos 1 y 2) presentaron un incremento instantáneo del área foliar de $0,035 \text{ cm}^2 \text{ día}^{-1}$ por cada cm^2 de área foliar que tenían inicialmente, las sembradas en lodo seco mezclado con suelo sin fertilización normal (tratamiento 10), solo incrementaban $0,017 \text{ cm}^2$



día⁻¹ por cada cm² de área foliar existente, por lo tanto el incremento fue mucho más acelerado en las primeras y más eficientes en el incremento del área foliar. Estos resultados se ajustan a lo planteado por Chaves (2006), que la tasa relativa de crecimiento es afectada por la interacción del ambiente con las condiciones nutricionales de la planta. El hecho que las palmas sembradas en lodo seco mezclado con suelo (tratamientos 5, 6 y 10), hayan presentado un incremento diario tan bajo indica que se afectó el crecimiento sin incremento del área foliar; probablemente, estas palmas quedarán atrasadas en comparación con las que recibieron efluente líquido y lodo seco en corona (tratamientos 1, 2, 3 y 4), lo cual se reflejará en el

tiempo que tardan en salir a sitio definitivo y, a largo plazo, en la producción de racimos.

De acuerdo con estos resultados, la aplicación de efluente líquido es más apropiada porque se reducen los costos de manejo en el vivero, de manejo de los residuos y disminuye la contaminación ambiental producida por su vertimiento.

AGRADECIMIENTOS

A la Junta Directiva y al Departamento Agronómico de la empresa Palmar Santa Elena por el soporte técnico y financiero para la realización de este estudio. A el Centro de Investigación El Mira de CORPOICA por su colaboración en el procesamiento de las muestras.



BIBLIOGRAFÍA

- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA. Centro de Investigación El Mira. 2005. (Colombia).
- Chaves, B. 2006. *Modelos de crecimiento*. Documento didáctico de clase. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. (Colombia) p 1- 6.
- Corley, RHV; Hardon, JJ.; Tang, GY. 1971. Analysis of growth of the palm oil (*Elaeis guineensis* Jacq.) I. Estimation of growth parameters and application in breeding. *Euphytica* p. 20-307.
- Hunt, R. 1982. *Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis*. Editorial Edward Arnold, 1th edición. Sheffield. 248 p.
- Montoya, RA; Hernández, MS, Clavijo, J. 1991. Determinación de modelos matemáticos para medición de área fotosintética y peso seco en pitaya. *Comalfi* (Colombia) 18 (2) 6 -11.
- Moustakas, N; Ntzanis, H. 2005. Dry matter accumulation and nutrient uptake in flue - cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). En: www.elsevier.com/locate/fer/fieldcropresearch. p. 13.
- MA, A. 1997. La interrelación de la energía-medio ambiente en la industria malaya de palma de aceite. *Palmas* (Colombia) 18 (4) p. 53-57.

TARIFAS DE SUSCRIPCIÓN 2007

PUBLICACIÓN	Periodicidad	Colombia	Exterior
Revista PALMAS	Trimestral (4)	\$ 190.000	US\$ 95
El Palmicultor y Ceniavances	Mensual (12)	\$ 140.000	US\$ 85
Tarifa Palmera Palmas, El Palmicultor, Ceniavances y Calendario	Oferta sólo para palmicultores colombianos	\$ 150.000	