

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

I. Desarrollo vegetativo y distribución de materia seca

RESPONSES OF NURSERY PALMS TO OIL MILL WASTES APPLICATION

I. Vegetative Development and Dried Matter Partition

AUTORES

Camilo A. Cortés G.

Ingeniero agrónomo.
Universidad Nacional de Colombia.
ccortessg@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 Palmer Santa Elena S.A.
jefe_cultivo_pse@hotmail.com

Bernardo Chaves C.

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

Palabras CLAVE

Crecimiento, desarrollo,
efluentes, lodos, área foliar,
peso foliar específico

Growth, development, wastes,
muds, leaf area, specific
foliar weight

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 existen varias alternativas de utilización de los residuos en el vivero. Así, el efluente líquido (bioabono) proveniente de las lagunas de oxidación, puede aplicarse en forma de riego en dosis de 1.000 cm³ palma⁻¹ y el lodo seco proveniente de lechos de secado, puede aplicarse en forma de corona en el plato de la bolsa en dosis de 250 g palma⁻¹. El primero generó un mayor crecimiento en altura de la palma, mayor engrosamiento del bulbo basal y mayor área foliar con respecto a las palmas tratadas con fertilización normal del vivero; el segundo produjo mayor peso seco de la planta y mayor distribución de materia seca en la parte aérea. La mezcla de suelo y lodo seco en las proporciones evaluadas no forjó efectos positivos sobre el crecimiento y desarrollo de la palma y por el contrario trajo consigo problemas de ahogamiento de las raíces, manifestación de síntomas de deficiencias nutricionales y la reducción en crecimiento y desarrollo de las palmas. La información presentada se muestra como base para futuras investigaciones que pretendan emplear estos residuos en palmas de vivero Ténera en la Zona Occidental de Colombia.

SUMMARY

The use of the wastes oil mill 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 Ténera. The results show that the residues can be used in different ways. For example, the liquid wastes from the oxidation lakes can be applied as watering 1,000 cm³ palm⁻¹ and the dry mud from dried beds can be applied in crown form around the plastic bag that contains the palm, 250 g palm⁻¹. The first treatment produced an increment in the plant high, enlarged

the basal bulb and made the foliar area bigger; The other treatment increased the dried weight of the plant, and the dry matter distribution to aerial component. The applications of mixture of soil and dry mud, in the proportions that were evaluated, has negative effects over the palm growth and development, suffocates the roots and produced nutritional deficiencies. These results can be used for support information to wastes oil mill applications in Ténera nursery palms in western zone of Colombia.



INTRODUCCIÓN

La adecuada fertilización de la palma de aceite es necesaria no sólo por su efecto directo sobre los rendimientos del fruto y de aceite, sino que la nutrición suficiente y balanceada desempeña un papel importante en la prevención de enfermedades y ataques de plagas que afectan el cultivo y por ende el rendimiento (Munévar, 2001).

En Colombia, después del proceso de extracción de aceite de palma se generan como residuos, aproximadamente, 20 kg de lodo seco de lechos de secado, 220 kg de racimos vacíos y de 0,8 – 1,0 m³ de efluente líquido (bioabono) por cada tonelada de racimos de frutos fresco (RFF) procesado. Estos efluentes tienen altos valores en DQO (demanda química de oxígeno) (40 a 60.000 ppm), DBO (20 a 40.000 ppm) y sólidos suspendidos (20 a 30.000 ppm). Además, son ácidos (pH de 4,0 a 4,5) y aceitosos (+/- 5.000 ppm).

Hasta finales de 1989 estos residuos ocupaban el cuarto lugar como fuente contaminante de ríos y nacimientos de agua en Colombia (Conhil, 1997). En 1994 Palmar Santa Elena S.A. instaló biodigestores tipo Biotec Ò con un volumen de 500 m³ y una capacidad de procesamiento de 65 m³ efluentes día⁻¹ con el objetivo de producir biogás y aprovecharlo como combustible para la planta generadora de energía de la planta extractora, lo que le representó un ahorro del 50% en el consumo de combustible representado en un valor aproximado de 4.000 dólares año⁻¹ a valores del año 1996.

Por otro lado, con el fin de aprovechar el bioabono se instaló un sistema de microaspersión en la finca La Italia, que inicialmente le permitía cubrir un área de 77 ha y que le representó un ahorro de 10.000 dólares año⁻¹, gracias a la reducción en el consumo de fertilizantes y al incremento en la producción de RFF, en 20 ha de fertirrigación por microaspersión que estaban en operación en 1997 (Conhil, 1997).

En la actualidad, una planta extractora de aceite de palma con una capacidad de procesamiento de 15 ton h⁻¹ de RFF produce una carga contaminante similar a las aguas residuales producidas por una población de un millón de habitantes. Estudios iniciales sobre los beneficios de la aplicación de efluentes crudos en el suelo indicaron que éstos pueden aplicarse en tasas razonables y podrían reemplazar a los fertilizantes inorgánicos con el consiguiente aumento de la producción y sin efectos contaminantes sobre la superficie o el agua de la vecindad (Wood *et al.*, 1987).

Conhil (1997) encontró incrementos en la producción de racimos-ha año⁻¹ de 40 y 49% en 1996 y 1997, respectivamente, después de la aplicación continua de efluente líquido (bioabono) mediante un sistema de microaspersión.

Gurmit *et al.*, (1994) demostraron que la fracción sólida obtenida después de la evaporación del agua que contienen los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma (lodo seco), tiene características físicas y químicas comparables con las del sólido decantador, que podría convertirse en fertilizante y concentrado para animales.

Chee (1992), mediante la utilización de un lodo proveniente de un lecho de secado de arena, al mezclarlo a razón de 26% con el suelo de vivero, sugiere que es suficiente para alcanzar un nivel de nutrición y crecimiento comparable al de las prácticas agronómicas comúnmente utilizadas en la plantación y que, por tanto, debería utilizarse como sustituto de los fertilizantes inorgánicos ya que reduce costos tanto en mano de obra como en fertilizantes.

En general, el manejo que se les da a los residuos del proceso de extracción actualmente se orienta a la producción de biogás, compostaje y producción de bioabono, con técnicas de tratamiento de residuos como lagunas de oxidación, biodigestores, lagunas carpadas y lechos de compostaje.



No obstante, la utilización provechosa de los desechos es la mejor opción para el control de la contaminación, ya que no solo reduce la contaminación sino que también genera ganancias directa o indirectamente, mediante el ahorro en costos de fertilizantes y en la mano de obra para el trabajo no productivo, en la operación de plantas de tratamiento de los efluentes (MA, 1998).

Sin embargo, estos residuos son aún subvalorados, se subestima su verdadero valor como suplemento nutricional para la palma y, en algunos casos, son eliminados de manera inmediata.

Por todo lo anterior y dado que son fuentes ricas en nutrientes, es importante estudiar la posibilidad de aplicar efluentes y lodos como abono orgánico y suplemento nutricional en el vivero y, además, presentar una alternativa de uso distinta a la que se le está dando actualmente en la región de Tumaco (Nariño), la cual genera carga contaminante adicional para fuentes de agua del sector y sobrecostos en el manejo de residuos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La parte experimental se realizó en el vivero de la empresa Palmar Santa Elena S.A. ubicada en la vereda Candelillas, en el municipio de San Andrés de Tumaco, Nariño (Colombia), a una altura de 20 m.s.n.m, con 26°C de temperatura promedio, humedad relativa del 88%, precipitación promedio de 3.000 mm año⁻¹ y 1.008 h año⁻¹ de brillo solar (Corpoica, 2005). Se seleccionaron 100 plántulas de palma híbrido Ténera de vivero de cuatro meses de edad por uniformidad en tamaño, vigorosidad, número de hojas y cuyo sustrato no estuviera mezclado con lodo seco. En la Tabla 1 se relacionan los tratamientos aplicados.

Los tratamientos fueron distribuidos en el campo siguiendo un diseño al azar (DCA), con 10 tratamientos y 10 repeticiones por tratamiento y teniendo como unidad experimental una planta de palma. El lodo seco tiene alto contenido de K, P, Mg y S (Tabla 2) entre otros. Se obtuvo del sistema de lechos de secado a temperatura ambiente, se recogió en cos-

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%

talillos y se llevó al vivero dejándolo en reposo al aire libre por dos semanas para regular la temperatura y el pH. El efluente líquido posee importantes contenidos de K, Mg, Ca, y se obtuvo de la salida de la laguna de oxidación de tratamiento de aguas residuales aerobia, la cual descarga sus aguas a la quebrada Patiita, afluente del río Patía. Se recogió en dos baldes con capacidad para 20 L cada uno y se llevó al vivero aplicándolo fresco. Estos residuos fueron llevados al laboratorio de análisis foliares y de suelos de Ceni-palma para conocer su composición mineral

Se inició al experimento aplicando diferentes dosis de efluente líquido y lodo seco a las palmas. En los tratamientos de lodo seco puro se trasplantaron 30 palmas de las 100 inicialmente seleccionadas, que

Tabla 2. Composición química de los residuos aplicados

Análisis	Unidad	Lodo seco	Efluente
pH		8,4	8,2
CE	Ds/m	11	14,6
N	%	5,9	NA
K	meq/100 g	31,8	4,7
Ca	meq/100 g	41,4	0,6
Mg	meq/100 g	32,2	2,9
Na	meq/100 g	0,7	2,5
CC	meq/100 g	11	NA
P	ppm	500	14,3
B	ppm	5,1	0,2
S	ppm	388	99,2
Cu	ppm	0,9	NA
Fe	ppm	2,9	NA
Mn	ppm	4,1	NA
Zn	ppm	0,5	NA
CO	%	8,5	0,05

NA: no aplica.

estaban sembradas en bolsas de vivero; se sembraron en bolsas de plástico con dimensiones de 40 x 45 cm, que contenían lodo seco puro previamente desterronado y mezclado uniformemente; 20 plántulas fueron sembradas en bolsas que contenían lodo seco en su totalidad (100% lodo), y 10 fueron sembradas en bolsas que contenían lodo seco mezclado con suelo en relación uno a uno (50% lodo, 50% suelo). Para la aplicación del lodo seco en la base del plato, se aforaron recipientes con capacidad para 250 y 150 g y para el riego del efluente líquido se aforaron recipientes con capacidad para 1.000 y 500 cm³.

Como el lodo seco perdía humedad con facilidad y formaba terrones, en el momento de la aplicación fue desterronado manualmente y distribuido de tal manera que cubriera el plato de la bolsa, evitando así que el bulbo basal quedara cubierto. Fue aplicado cada 90 días en forma de corona alrededor del bulbo basal de la palma; de la misma forma el efluente líquido fue aplicado cada 30 días. El plan de fertilización utilizado en el vivero se presenta en la Tabla 3.

Las palmas del vivero se cultivaron durante 10 meses, se regaron con un sistema de aspersión con manguera y se hizo el manejo de enfermedades y plagas convencional del vivero. Las medidas de desarrollo vegetativo se tomaron cada 15 días, excepto el "área foliar específica" (AFE) y el "peso foliar específico" (PFE) que fueron evaluadas mensualmente. A continuación, se describen cada una de estas variables:

- *Altura de la planta.* Con un flexómetro desde la base del bulbo basal hasta el punto de inserción más bajo de la hoja No. 1
- *Número de hojas emitidas.* A partir de la hoja No. 1 en cada fecha de evaluación
- *Diámetro del estípide.* Con un calibrador tipo "pie de rey", en la base del bulbo basal, promedio de dos mediciones por palma
- *Estimación del área foliar (AF).* Se contaron todos los folíolos de la hoja No 3 (n), el promedio de las longitudes de los tres folíolos centrales de cada lado de la hoja y el promedio de sus anchos medidos en la parte media (w), según la metodología de Corley *et al.* (1971) donde el factor de corrección es 0,55.

$$AF = 0,55 \times (n \times l \times w)$$

Tabla 3. 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	5
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	Bio	2
10	15-30-24-2	20

- *Estimación área foliar específica (AFE) y peso foliar específico (PFE).* Mensualmente, se tomaron dos folíolos centrales de cada lado de la hoja tres, en cada uno se cortó un sector central de 10 cm de largo con ayuda de tijeras, se midió su ancho en la parte media y se calculó el área de cada sector; luego los sectores se secaron en un horno de circulación forzada a 85°C, durante 24 horas hasta que el peso seco fuera constante y se determinó el peso seco de cada sector central en una balanza analítica. Con estos datos se calcularon el AFE y el PFE con las siguientes fórmulas:

$$AFE = \frac{\text{área foliar promedia de los sectores centrales}}{\text{peso seco foliar promedio de los sectores.}}$$



PFE = peso seco foliar promedio de los sectores /
área foliar promedio de los sectores
centrales

- *Peso seco de la planta.* Al final del experimento se seleccionaron tres palmas por tratamiento, se sacaron de las bolsas, se le extrajo el sustrato con sumo cuidado, se lavaron los órganos (raíces, bulbo basal, tallo y hojas) y se realizó la disección de cada uno de ellos con machete. Se consideró como bulbo basal la sección desde la base del estípite (donde nacen las raíces) hasta donde se adelgaza; se separaron las hojas desde el exterior hasta el cogollo; los pecíolos se cortaron a partir de las vainas peciolares y hasta donde comenzaban los primeros rudimentos de folíolos. Las raíces, bulbo basal, tallo y hojas fueron partidos, picados y colocados en bolsas de papel previamente etiquetadas; luego se llevaron al laboratorio y se tomaron los pesos frescos en una balanza analítica de precisión; después, se secaron en un horno de circulación forzada a 85°C durante 24

horas hasta peso constante y se tomaron los pesos secos en una balanza analítica de precisión.

Con los datos generados se realizó el análisis de varianza (Anava), una prueba de Tukey ($P < 0,05$) para estimar las diferencias entre las medias y, para comparar los tratamientos, se realizaron contrastes para todas las variables evaluadas (Tabla 4). Para esta primera parte del estudio se analizaron los datos de las variables evaluadas a los 284 días después de la siembra (DDS). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico "SAS" V 9.1®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los datos generados se realizó una prueba de contrastes para comparar el efecto de los tratamientos sobre todas las variables evaluadas (Tabla 4).

Emisión foliar

No se presentaron diferencias estadísticas significativas en la emisión mensual de hojas entre los

Tabla 4. Contrastes realizados para comparar los tratamientos

Contrastes		
1 Fertilización normal	Vs.	Resto de tratamientos
2 Efluente líquido sin fertilización (1.000 cm ³)	Vs.	Efluente líquido (1.000 y 500 cm ³) + fertilización normal
3 Efluente líquido + fertilización normal (1.000 cm ³)	Vs.	Efluente líquido (500 cm ³) + fertilización normal
4 Efluente líquido + fertilización normal (1.000 cm ³)	Vs.	Efluente líquido (1.000 cm ³) sin fertilización
5 Efluente líquido (1.000 y 500 cm ³) + fertilización normal	Vs.	Fertilización normal
6 Lodo seco en corona (150 y 250 g) + fertilización normal	Vs.	Lodo seco en corona (250 g) sin fertilización
7 Lodo seco en corona (250 g) + fertilización normal	Vs.	Lodo seco en corona (250 g) sin fertilización
8 Lodo seco en corona (250 g) + fertilización normal	Vs.	Lodo seco en corona (150 g) + fertilización normal
9 Lodo seco en corona (250 y 150 g) + fertilización normal	Vs.	Fertilización normal
10 Lodo seco mezclado con suelo (100%) sin fertilización	Vs.	Lodo seco mezclado con suelo (100 y 50%) + fertilización normal
11 Lodo seco mezclado con suelo (100%) + fertilización normal	Vs.	Lodo seco mezclado con suelo (100%) sin fertilización
12 Lodo seco mezclado con suelo (100 y 50%) + fertilización normal	Vs.	Fertilización normal
13 Lodo seco mezclado con suelo (100 y 50%) + fertilización normal	Vs.	Lodo seco en corona (250 y 150g) + fertilización
14 Lodo seco en corona (250 y 150g) + fertilización normal	Vs.	Efluente líquido (1.000 y 500 cm ³) + fertilización normal
15 Lodo seco mezclado con suelo (100 y 50%) + fertilización normal	Vs.	Efluente líquido (1.000 y 500 cm ³) + fertilización

tratamientos evaluados (Tabla 4, contraste 1)); sin embargo, se advirtió que las palmas tratadas con efluente líquido (tratamientos 1, 2 y 8) y lodo seco en corona + fertilización normal (tratamientos 3, 4 y 9) emitieron mayor número de hojas mes^{-1} (Tabla 4, contrastes 5, 9, 13 y 15). La mayor emisión de hojas sugiere que hubo mayor eficiencia metabólica y menor estrés fisiológico en palmas tratadas con fluente líquido + fertilización normal (tratamientos 1, 2) y lodo seco en corona + fertilización normal (tratamientos 3, 4), con respecto a las palmas sembradas en el lodo seco mezclado con suelo (tratamientos 5, 6 y 10), por la concentración nutricional, el modo de aplicación y la dosis aplicada de los residuos; además, es posible que las palmas con menor emisión foliar desde el vivero produzcan menos racimos posteriormente porque la producción de hojas determina la producción total de racimos y los factores que afecten la producción de hojas, afectarán la producción real de los mismos (Bolívar, 1997).

Altura de la planta y diámetro del bulbo basal

Los valores de altura de la planta (Tabla 5) de las palmas tratadas con efluente líquido (tratamientos 1, 2 y 8) y lodo seco en corona + fertilización normal (tratamientos 3 y 4) fueron mayores; al igual que el diámetro del bulbo basal de las palmas tratadas con efluente líquido + fertilización normal (tratamientos 1 y 2) y lodo seco en corona + fertilización normal

(tratamientos 3 y 4) (Tabla 4, contrastes 1, 5, 9, 13, 15). Sin embargo, se presentaron síntomas de deficiencias de N y Mg en las palmas que no estaban acompañadas de fertilización normal (tratamientos 8 y 9) posiblemente por la concentración de estos elementos que poseían los residuos. Los menores valores de altura de planta y diámetro del bulbo que presentaron las palmas sembradas en lodo seco mezclado con suelo (tratamientos 5, 6 y 10) se pueden explicar porque la situación de los nutrimentos en el estípote está correlacionada con desequilibrios en el sustrato, principalmente entre K y P que se manifiestan en un adelgazamiento del estípote. (Ramírez *et al.*, 2002).

Con la aplicación de efluente líquido en forma de riego y lodo seco en forma de corona en el plato de la bolsa, acompañados de un buen plan de fertilización y un óptimo manejo de vivero, se estima, que se puedan obtener palmas de similar porte y desarrollo a las que por lo general se obtienen a los 12 meses, en solo 10 meses después de sembradas para ser trasplantadas en sitio definitivo.

Peso seco de la planta

La influencia de los tratamientos sobre el peso seco de la planta se presenta en la Tabla 6. El peso seco de raíces, bulbo basal, tallo y hojas fue inferior en las plantas sembradas en suelo mezclado con lodo seco (tratamientos 5, 6 y 10), lo cual indica que no deben usarse estos residuos mezclados con suelo en estas

Tabla 5. Efecto de la aplicación de residuos sobre el crecimiento de palmas de vivero

Tratamientos	Dosis palma^{-1}	Emisión de hojas	Altura (cm)	Diámetro bulbo (cm)
1. Efluente líquido + fertilización normal	1.000 cm^3	2,7	25,3 a	7,4 a
2. Efluente líquido + fertilización normal	500 cm^3	2,7	23,9 a	7,3 a
3. Lodo seco en corona + fertilización normal	250 g	2,3	24,1 a	7,1 a
4. Lodo seco en corona + fertilización normal	150 g	2,2	21,7 ab	6,6 b
5. Lodo seco mezclado con suelo + fertilización normal	100%	2,1	17,3 b	5 b
6. Lodo seco mezclado con suelo + fertilización normal	50%	2,1	13,7 b	4,1 bc
7. Fertilización normal	Tabla 2	2,3	19,6 b	6,9 ab
8. Efluente líquido sin fertilización	1.000 cm^3	2,1	20,2 ab	6,3 b
9. Lodo seco en corona sin fertilización	250 g	1,9	18,4 b	6,4 b
10. Lodo seco mezclado con suelo sin fertilización	100%	1,7	10,9 c	3,1 c
CV (%)		31,7	17,6	13,6
F (Tratamientos)		rs	**	**

Promedios con letras distintas, en la misma columna, difieren en forma significativa según la prueba de Tukey ($P < 0,05$)

** Prueba de F significativa ($P < 0,01$)

ns: prueba de F no significativa



Tabla 6. Efecto de la aplicación de residuos sobre el peso seco de plantas de vivero (284 DDS)

Tratamientos	Dosis palma ⁻¹	Peso seco (g)					
		Raíces	Bulbo	Tallo	Hojas	Parte aérea	Total
1. Efluente líquido + fertilización normal	1.000 cm ³	51,6 a	82,2 ab	26,1 ab	243,5 ab	351,8 ab	755,1 ab
2. Efluente líquido + fertilización normal	500 cm ³	37,5 b	64,1 bc	27,8 ab	171,4 bcd	263,3 bc	564,1 bc
3. Lodo seco en corona + fertilización normal	250 g	55,7 a	104,8 a	53,3 a	324,5 a	482,6 a	1020,9 a
4. Lodo seco en corona + fertilización normal	150 g	43,5 b	65,0 abc	37,0 ab	232,8 ab	334,8 ab	713,0 ab
5. Lodo seco mezclado con suelo + fertilización normal	100%	19,2 b	26,6 dc	17,7 b	71,8 cd	116,1 ecd	251,5 ecd
6. Lodo seco mezclado con suelo + fertilización normal	50%	16,2 b	20,3 d	9,6 b	47,6 cd	77,5 e	171,1 e
7. Fertilización normal	Tabla 2	37,5 b	69,9 ab	30,8 ab	180,9 bc	281,6 bc	600,7 b
8. Efluente líquido sin fertilización	1.000 cm ³	40,7 b	65,6 abc	29,2 ab	169,9 bcd	264,7 bc	570,1 bc
9. Lodo seco en corona sin fertilización	250 g	39,7 b	65,8 abc	21,9 b	160,8 bcd	248,4 bcd	536,5 bcd
10. Lodo seco mezclado con suelo sin fertilización	100%	16,1 b	21,8d	14,8 b	56,8 cd	93,4 ed	202,9 ed
CV (%)		28,5	23,6	37,4	27,2	23,2	22,5
F (Tratamientos)		**	**	**	**	**	**

Promedios con letras distintas, en la misma columna, difieren significativamente según la prueba de Tukey (P < 0,05)

** Prueba de F significativa (P < 0, 01)

proporciones. El mejor tratamiento para estas variables fue la aplicación de lodo seco en corona (250 g palma⁻¹) + fertilización normal, el cual generó un incremento significativo del peso seco de raíces con respecto al testigo (fertilización normal) y al resto de tratamientos (Tabla 4, contrastes 9, 13); esto, posiblemente, le proporcionó un mejor anclaje a la planta, le permitió la toma eficiente de elementos del suelo y aumentó el peso seco de la hojas y de la parte aérea; los mismos resultados se presentaron para las palmas tratadas con efluente (Tabla 4, contraste 5, 15).

Los pesos secos de las hojas de los tratamientos con lodo aplicado en corona al plato (3, 4 y 8) y con efluente líquido (1, 2 y 8) fueron significativamente mayores que los de las palmas sembradas en la mezcla de suelo y lodo seco (5, 6 y 10), en todas las dosis evaluadas y sin importar si éstas estaban acompañadas de fertilizantes o no (Tabla 4, contrastes 13 y 15). Posiblemente, las palmas sembradas en lodo seco mezclado con suelo (tratamientos 5, 6 y 10) sufrieron un estrés fisiológico que les impidió transportar los elementos desde la raíz hacia la parte aérea

por al ahogamiento de las raíces y el endurecimiento del sustrato donde se encontraban. Esto coincide con lo planteado por Coto *et al.* (1997), que la acumulación de peso seco de la hoja refleja la capacidad de crecimiento de la planta, pues representa la actividad fotosintética y la absorción de elementos por parte de las raíces.

Las relaciones de mezcla de suelo y lodo seco (tratamientos 5 6 y 10) no tuvieron ningún efecto positivo y, por el contrario, el efecto se tradujo en una reducción en el desarrollo y crecimiento de las palmas e influyó en la manifestación de síntomas de deficiencias nutricionales de N, K y Mg, principalmente. Es posible realizar una mezcla del suelo de vivero con lodos provenientes de lechos de secado pero las proporciones deben ser menores a las utilizadas en este experimento, porque de lo contrario se crean problemas de compactación del suelo de la bolsa con ahogamiento de raíces, baja distribución e infiltración del agua en la bolsa, así como baja disolución de fertilizantes granulados lo que impide que éstos sean tomados por la planta.

Área foliar

Los análisis estadísticos de contrastes (Tabla 4) mostraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos (Tabla 4, contraste 1), siendo el mejor la aplicación de efluente líquido + fertilización normal (tratamiento 1) (Tabla 4 contrastes 3, 4, 5 y 14); no obstante, la aplicación de lodo seco en corona en el plato + fertilización normal (tratamiento 3) también mostró buenos resultados (Tabla 5). En general, la aplicación de estos residuos generó diferencias significativas sin importar si estaban acompañados de fertilización convencional o no (Tabla 4, contrastes 5, 9, 13 y 15), lo cual, permite comprobar el efecto positivo de la utilización de estos compuestos junto con la fertilización normal del vivero sobre el desarrollo

foliar de las palmas. El área foliar se vio afectada en palmas sembradas en lodo seco mezclado con suelo (tratamientos 5, 6 y 10) debido a que, posiblemente, bajo estas condiciones las palmas redujeron la emisión y expansión de las hojas.

El área foliar es un excelente indicativo sobre la capacidad fotosintética de la planta y está relacionada con la acumulación de materia seca, el metabolismo de la planta, su rendimiento, la intercepción de luz y su crecimiento (Awal *et al.*, 2004; Burstall *et al.*, 2004), condiciones que se observaron en las palmas tratadas con efluente líquido (tratamientos 1, 2 y 8) y lodo seco en corona (tratamientos 3, 4 y 9) al compararlas con las palmas sembradas en la mezcla de suelo con lodo seco (tratamientos 5, 6 y 10).

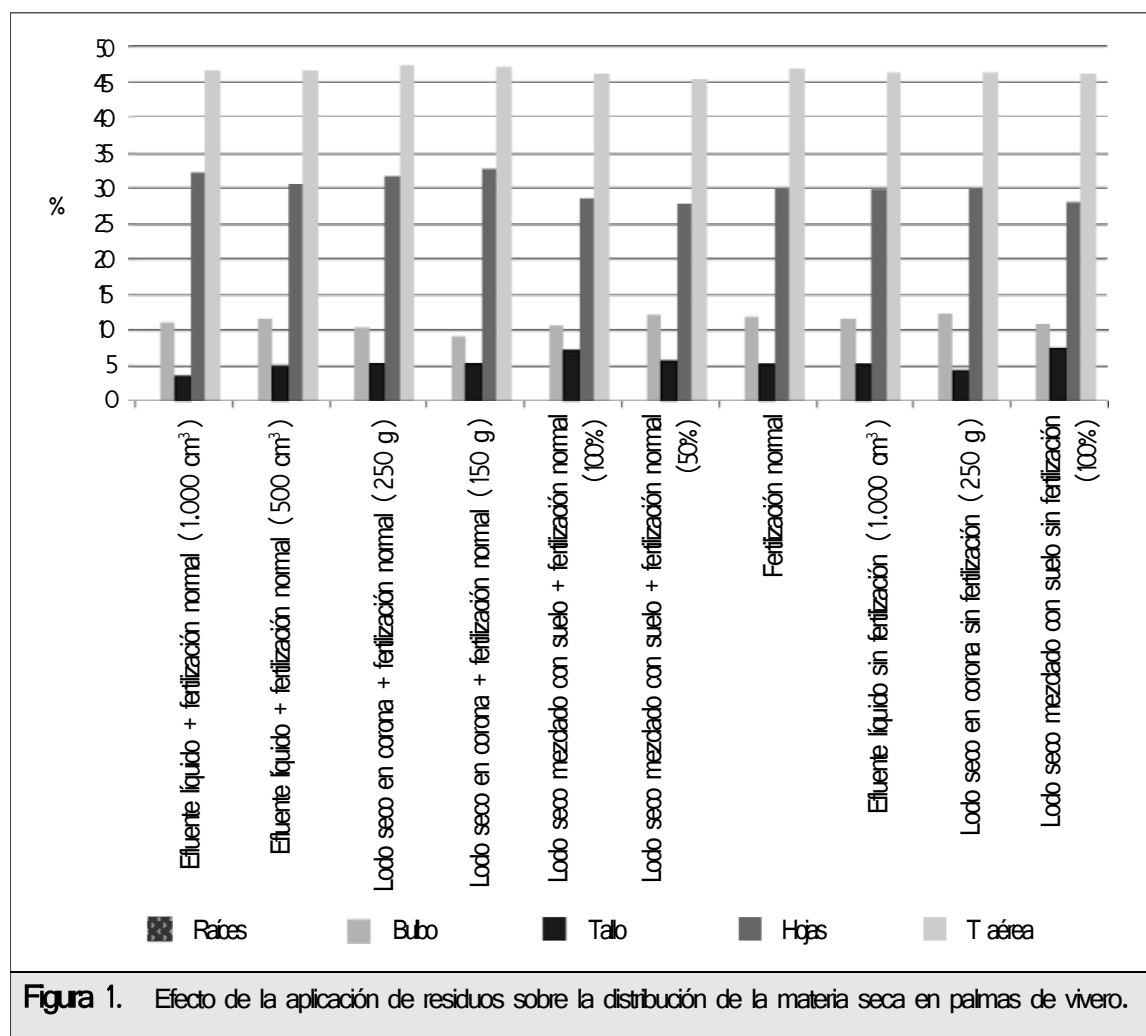


Figura 1. Efecto de la aplicación de residuos sobre la distribución de la materia seca en palmas de vivero.



Tabla 7. Efecto de la aplicación de residuos sobre el área foliar específica (AFE) y peso foliar específico (PFE) en palmas de vivero

Tratamientos	Dosis palma ⁻¹	AFT m ²	AFE cm ² g ⁻¹	PFE mg cm ⁻²
1. Efluente líquido + fertilización normal	1.000 cm ³	0,2	140,4	7,2
2. Efluente líquido + fertilización normal	500 cm ³	0,2	174,7	5,8
3. Lodo seco en corona + fertilización normal	250 g	0,2	140,8	7,1
4. Lodo seco en corona + fertilización normal	150 g	0,2	141,6	7,1
5. Lodo seco mezclado con suelo + fertilización normal	100%	0,1	151	6,7
6. Lodo seco mezclado con suelo + fertilización normal	50%	0,05	171,2	6,1
7. Fertilización normal	Tabla 2	0,2	161,3	6,5
8. Efluente líquido sin fertilización	1.000 cm ³	0,2	144	7,
9. Lodo seco en corona sin fertilización	250 g	0,1	150,5	6,7
10. Lodo seco mezclado con suelo sin fertilización	100%	0,06	162,1	7,1
CV (%)		29,4	14,8	11,8
F (Tratamientos)		**	**	ns

** Prueba de F significativa ($P < 0,01$)

ns: prueba de F no significativa.

Distribución de la materia seca

La distribución de la materia seca (relación alométrica) explica cómo la planta distribuye los asimilados en cada uno de sus órganos constituyentes (Figura 1). En todos los tratamientos, el peso seco de las hojas fue la mayor proporción del peso seco total de la planta, lo cual significa que la palma destinó la mayor parte de la biomasa producida a la construcción del aparato asimilatorio; esto indica que la palma tiene un patrón que favorece el crecimiento de raíces o la parte aérea, según la época de desarrollo en que se encuentre. La aplicación de lodo seco en corona en el plato + fertilización normal (tratamiento 3) favoreció el desarrollo de la parte aérea por la mejor condición nutricional de este tratamiento (Tabla 4, contrastes 7, 8, 9, 13 y 14).

Área foliar específica (AFE) y peso foliar específico (PFE)

El AFE expresa el grosor relativo de las hojas y es muy sensible a factores ambientales y externos (Santos *et al.*, 2005). Las palmas que presentaron menor valor de AFE fueron las tratadas con efluente líquido + fertilización normal (Tabla 7), pues un mayor grosor relativo (menor AFE) está correlacionado con mayor densidad de hojas y supone una cantidad de fotoasimilados mayor (Ayala, 2000). En este experimento es posible que la influencia de la aplicación continua de efluente líquido + fertilización normal, junto con el efecto de factores ambientales externos, haya

generado mayor grosor relativo en las hojas y, por tanto, mayor contenido de fotoasimilados con respecto al testigo (fertilización normal) y al resto de tratamientos (Tabla 4, contrastes 3, 4, 5, 14 y 15).

El PFE es una forma de estimar la eficiencia fotosintética mediante la producción de materia seca por unidad de superficie foliar (Tabla 6). El mayor valor de PFE se obtuvo en las palmas tratadas con efluente líquido + fertilización normal con diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 4, contrastes 4, 5, 14, 15), debido a la mayor acumulación de carbohidratos y asimilados en las hojas de estas palmas. Estas diferencias podrían estar asociadas con variaciones en las tasas de fotosíntesis porque la planta acumula mayor cantidad de carbohidratos de reserva para su posterior desarrollo, o puede también deberse a diferencias estructurales anatómicas y morfológicas del material sembrado (Santamaría *et al.*, 2000).

CONCLUSIONES

El uso de lodo seco y efluente líquido reduce el tiempo de la etapa de vivero y es una alternativa complementaria pero no reemplaza la fertilización convencional del vivero.

La utilización de los residuos en los viveros contribuye a reducir la contaminación de las fuentes de agua y los costos por concepto de tasa retributiva por su vertimiento.

Se recomienda estudiar en futuros experimentos diferentes combinaciones de aplicación de lodos secos y efluentes líquidos, y el efecto sobre las respuestas fisiológicas de las palmas, para optimizar el crecimiento y desarrollo de los viveros.

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. Al Centro de Investigación El Mira de Corpoica por su colaboración en el procesamiento de las muestras.

BIBLIOGRAFÍA

- Ayala, I. 2000. Identificación de variables morfológicas y fisiológicas asociadas con el rendimiento en materiales de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq). *Palmas* (Colombia). 21(2):10-21.
- Awal, M; Wan, I; Endan, J; Haniff, M. 2004. Regression Model for Computing Leaf Area and Assessment of Total Leaf Area Variation with Frond Ages in Oil Palm. *Asian Journal of Plant Sciences* (Malaysia) 3(5):642-646.
- Bolívar, N. 1997. Estudio de la relación fuente-demanda en dos materiales de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq) en la zona de Tumaco-Nariño. Tesis de grado. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia (Colombia):12-15.
- Burstall, L; Harries, PM. 1983. The estimation of percentage light interception from leaf area index and predicted from percentage ground cover in potatoes. *Journal Agricultural Science* (Malaysia). 100:241-244.
- Chee, K. 1999. Reciclaje de desperdicios del fruto mediante la cobertura del suelo con racimos vacíos. *Palmas* (Colombia) 21(3):65-75.
- Chee, K; Benjamín, M. 1992. Utilización de la torta seca de efluentes de la planta extractora como fertilizante en vivero. *Palmas* (Colombia) 13(4):49-53.
- Corñil, P. 1997. La valoración de los subproductos de la planta de tratamiento de los efluentes de la extractora de aceite de palma Palmar Santa Elena en Tumaco, Colombia. *Palmas* (Colombia) 21 Especial 1:250-255.
- 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. *Eurphyta*. 20-307.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). 2005. Centro de Investigación El Mira. (Colombia).
- Coto, E; Chinchilla, C; Bulgarelli, J; Palma, T. 2002. Crecimiento vegetativo en previvero de cinco cruces comerciales de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq) ASD. *Oil Palm Papers* (Costa Rica) 23:14-19.
- Gurnith, S; Manniharan, S; Toth, TS. 1989. United plantations approach to palm oil mill by product management and utilization. Poim International Palm Oil Development Conference, Module II: *Agriculture Proceedings* (Malasia):225-234.
- MA, A. 1998. La interrelación de la energía-medio ambiente en la industria malaya de palma de aceite. *Palmas* (Colombia) 18(4):53-57.
- Múnevar, F. 2001. Fertilización de la palma de aceite para obtener altos rendimientos. *Palmas* (Colombia) 22(4):9-17.
- Ramírez, F; Chinchilla, C; Bulgarelli, J. 2002. Asociación entre los bajos contenidos de fósforo en el suelo y una reducción del diámetro del tronco de la palma aceitera. ASD. *Oil Palm Papers* (Costa Rica). 23:27-30.
- Siegar, F; Saletes, S; Caliman, J; Liwang, T. 2002. Empty fruit bunches compost: Processing and utilities. International Oil Palm Conference. Nusa Dua, Bali (Indonesia). July 8-12.
- Saletes, S; Caliman, J; Raham, D. 2004. Study of mineral nutrient losses from oil palm empty fruit bunches during temporary storage. *Journal of Oil Palm Research* (Indonesia). 16(1):11-21.
- Santamaría, M; Villegas, A; Colinas, M; Calderón, G. 2000. Peso específico, contenido de proteína y de clorofila en hojas de naranjo y tangerino. Departamento de Fitotecnia. Universidad Nacional Autónoma Chapingo. *Agrociencia*. (México) 34:49-55.
- Santos, C; Segura, M. 2005. Evaluaciones de variables fisiológicas y componentes de rendimiento en cuatro variedades y dos clones de papa (*Solanum tuberosum*) en el municipio de Zapaquí (Cundinamarca). Tesis de grado. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia (Colombia):61-71.
- Wood, B; Lim, K. 1989. Desarrollo de las aplicaciones de los efluentes de las plantas extractoras de aceite y caucho. *The Planter* (Malasia) 65(750):27-42.