

# Reciclaje de nutrientes y manejo de residuos durante la resiembra de palma de aceite en Malasia

Nutrient recycling and waste management during oil palm renovation in Malaysia

AUTORES



**Khalid Haron,  
Chan Kook Weng  
Ahmad Tarmizi M**  
MPOB, Malasia

Palabras CLAVE

Reciclaje de nutrientes,  
manejo de residuos,  
resiembra de palma de aceite

Recycling of nutrients, waste  
management, oil palm renovation

## Resumen

La producción sostenible de palma de aceite con la implementación de buenas prácticas agrícolas, como el reciclaje de nutrientes de residuos de palma durante la resiembra -que puede reducir el consumo de fertilizantes inorgánicos y por tanto el calentamiento global- es la solución ideal para mitigar los efectos adversos sobre el medio ambiente. Este documento discute el manejo de la biomasa de palma de aceite durante la resiembra, con lo que es posible regular la eficiencia en el reciclaje de nutrientes y minimizar el uso de fertilizantes inorgánicos para mejorar el desarrollo de un sistema sostenible de cultivo para la industria palmera.

## Abstract

Sustainable production of oil palm with the implementation of good agricultural practices such as recycling of nutrients from palm waste at renovation, which can reduce the consumption of inorganic fertilizers, and therefore global warming, is the ideal solution to mitigate adverse effects on the environment. This paper discusses the management of oil palm biomass during renovation, making it possible to regulate the efficiency of nutrient recycling and minimize the use of inorganic fertilizers to improve the development of sustainable cultivation systems for the oil palm industry.





## Introducción

La palma de aceite (*Elaeis guineensis*) es uno de los cultivos de más rápida expansión en los trópicos. Se siembra en 43 países, donde ocupa cerca de una décima parte de las tierras de cultivo permanente del mundo (FAO, 2007). Según Oil World (2008), los cinco mayores productores de palma de aceite son Indonesia (4,98 millones de hectáreas) y Malasia (3,90 millones de hectáreas) en el Sureste Asiático, seguidos por Tailandia (450.000 hectáreas), Nigeria (405.000 hectáreas) y Colombia (230.000 hectáreas).

La capacidad de recuperación y el crecimiento de la industria palmera en Malasia se deben principalmente a la estrategia gubernamental de desarrollar tierra agrícola de manera sostenible, mejorando la productividad y mitigando el impacto sobre el medio ambiente. Con una tendencia creciente en los costos de producción de la oleaginosa, en especial de los fertilizantes, la urgente necesidad era implantar prácticas sostenibles en términos agrícolas, económicos y ambientales.

De esa manera es posible reducir los efectos adversos en el medio ambiente por ejemplo con el reciclaje de nutrientes derivados de residuos de palma durante la resiembra, para asimismo reducir el consumo de fertilizantes inorgánicos y por consiguiente el calentamiento global.

Tal comportamiento se alinea con el código de prácticas de la MPOB y el Principio 5 de la Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible (Rspo, por su sigla en inglés), que exige responsabilidad ambiental para la conservación de recursos naturales. El Criterio 5.3 especifica que los desechos se deben reducir, reciclar, reutilizar y eliminar en forma social y ambientalmente responsable. Todos los esfuerzos encaminados a la protección del medio ambiente son prioridad en todos los aspectos de las operaciones de una plantación.

La política de Asean de cero quemadas, en la actualidad adoptada en la resiembra de plantaciones de palma de aceite, es un buen ejemplo del desarrollo de prácticas más sostenibles basadas en suministro de nutrientes y manejo de residuos orgánicos (Mohd Hashim *et al.*, 1993). La práctica garantiza no solo un ambiente libre de neblina trans-fronteriza y contaminación de humo,

sino que también proporciona un método sostenible de conservación de la fertilidad del suelo, junto con el uso reducido de fertilizantes inorgánicos.

La práctica de cero quemadas fue introducida por Khalid *et al.* (2001) como una técnica innovadora en la siembra de palma de aceite durante la resiembra. Requiere que las palmas sean trasplantadas entre las hileras de los residuos de biomasa de las palmas viejas para mejorar la eficiencia en la utilización de residuos (Figura 1). Existe una mejor sincronización entre la liberación de nutrientes y los requisitos de crecimiento de la planta (Swift, 1984).



**Figura 1.** Técnica innovadora que resiembra. Palmas jóvenes sembradas entre hileras de biomasa de palmas viejas.

Este documento discute el manejo de la biomasa de palma de aceite durante la resiembra, con lo que es posible regular la eficiencia en el reciclaje de nutrientes y minimizar el uso de fertilizantes inorgánicos para mejorar el desarrollo de un sistema sostenible de cultivo para la industria palmera.

## Disponibilidad de biomasa y nutrientes durante la resiembra

En Malasia la resiembra normalmente se lleva a cabo después de los 25 años, debido a que las palmas de aceite a esa edad comienzan a generar problemas de cosecha, y otros de consideraciones económicas.

Bajo la práctica de cero quemadas, el cultivo viejo se tumba, se pica y se deja descomponer *in situ*. Esto produce grandes sumas de biomasa de troncos y hojas disponible, aproximadamente 85 t/ha de materia seca sobre el suelo y 16 t/ha de raíces bajo el suelo

**Tabla 1.** Contenido de nutrientes, fertilizante equivalente y valor monetario de la biomasa de palma de aceite en la resiembra\*

Residuos de palma	Materia seca (t/ha-1)	contenido de nutrientes (kg/ha-1)			
		N	P	K	Mg
Sobre el suelo	85	577	50	1255	141
Bajo el suelo	16	65	8	129	15
Total	101	642	58	1384	156

Fertilizante equivalente	SOA	PR	MOP	Kies,
Toneladas/ha	3,06	0,37	2,77	1,0
** Valor monetario (US\$)	552	103	2000	250
Total: US\$ = 2,905				

\*(After Khalid *et al.*, 1996 & 2009); \*\*Valor monetario estimado: US\$ 2,905 (precios por tonelada de fertilizante a enero de 2009: Sulfato de Amonio (soa): US\$180, Roca Fosfórica (pr): US\$278, Muriato de Potasa (mop): US\$722 y Kieserita (Kies.): US\$250; Nota: 1US\$ = RM 3,60,

que producen una cantidad sustancial de nutrientes, equivalente a 642 kg de nitrógeno (N), 58 kg de fósforo (P), 1.384 kg de potasio (K) y 156 kg de magnesio (Mg) (Khalid *et al.*, 1996).

En términos de fertilizantes inorgánicos, el ahorro de nutrientes equivale a alrededor de 3,06 toneladas de sulfato de amonio (A/S), 0,37 de roca fosfórica de la Isla Navidad (CIRP), 2,77 de muriato de potasa (MOP) y 1,0 tonelada de kieserita.

En el año 2009, el valor monetario del fertilizante equivalente de los nutrientes disponibles es de cerca de US\$ 2.900/ha (Tabla 1). La reserva de nutrientes en las palmas viejas al momento de la resiembra teóricamente podría proporcionar aplicaciones estándar de N, K y Mg durante 6-7 años y cerca de 2 años de suministro de P para palmas inmaduras. Teoh (1993) y Mohd Hashim *et al.* (1993) sugirieron que usando la práctica de cero quemadas, los requerimientos de fertilizantes inorgánicos podrían reducirse en 20-30% por 4 ó 5 años durante la fase inmadura y comienzo de la fase madura de las palmas de aceite.

## Patrones de descomposición y liberación de nutrientes de los residuos de palma de aceite

Los procesos de descomposición desempeñan un papel importante en la fertilidad del suelo en términos de reciclaje de nutrientes y formación de materia orgánica. La calidad de los residuos de la palma de aceite es una de las variables que regula los procesos y, por tanto, la tasa de descomposición. De todos los residuos, las hojas son las de mejor calidad, debido a

que contienen altas concentraciones de N y una baja proporción C:N de 18. Al contrario, el raquis, troncos y raíces contienen poco N y las proporciones de C:N son mucho más altas: 107, 82 y 117, respectivamente.

Con base en la proporción C:N, la calidad de los recursos se clasifica en el siguiente orden: hojas > troncos > raquis > raíces. Los últimos tres materiales se consideran como recursos de baja calidad en términos de la tasa potencial de descomposición. Estudios sobre la descomposición de residuos de palma de aceite realizados por Khalid *et al.* (2000b) mostraron que los patrones de descomposición de los residuos de palma de aceite están en el siguiente orden: hojas > raquis = troncos > raíces.

Según los estudios, la descomposición de los residuos de palma de aceite está regulada por varios factores, en el siguiente orden: macroclima > microclima > calidad del recurso > organismos. La distribución de las lluvias es el principal factor climático que controla el contenido de humedad de los residuos, mientras que el microclima en cada una de las diferentes pilas de residuos modifica significativamente la temperatura y la humedad que afecta la tasa de descomposición. Además, las tasas de descomposición de los materiales se ven afectadas por el tamaño de los pedazos cortados. Por ejemplo, es probable que los troncos y raquis, por su tamaño masivo, disminuyan la tasa de descomposición. En promedio, la mayoría de los residuos de palma de aceite tarda entre 12 y 18 meses en descomponerse, mientras que algunos de los materiales más duros, especialmente las raíces, pueden tardar mucho más tiempo para hacerlo. La acumulación significativa de fracciones de carbono



orgánico liviano en la superficie del suelo libera y proporciona nutrientes al suelo.

Los nutrientes liberados por los residuos de palma de aceite muestran diferentes patrones de liberación, dependiendo de los tipos de residuo y de nutrientes. K es lixiviado rápidamente de los residuos, seguido por liberaciones de Mg, Ca, P y N. Las hojas, raquis, troncos y raíces todos muestran liberaciones de nutrientes en el siguiente orden:  $K > Mg = Ca > P > N$ . La tasa general de liberación de nutrientes de residuos es relativamente rápida, especialmente K, con más del 70% de los nutrientes perdidos y transferidos al suelo durante un período de 18 meses.

## Dinámica de los nutrientes en plantaciones de palma de aceite

La mayoría de los resultados del estudio sobre reciclaje de nutrientes y manejo de residuos de palma de aceite durante la resiembra, realizado en el Centro de Investigación de la MPOB en Kluang, Johor (Malasia) en junio de 1994, fueron publicados en revistas arbitradas y actas de conferencias (Khalid *et al.*, 1996, 1999a, 1999b, 1999c, 1999d, 2000a, 2000b, 2000c, 2001a y 2001b). Como una continuación del estudio sobre la dinámica de los nutrientes en el suelo y prácticas de manejo de residuos durante las resiembras de palma de aceite, se realizó otro ensayo de campo en una plantación privada en Kluang, Johor, para estudiar el efecto a largo plazo del manejo de residuos y tratamientos de fertilizante en la dinámica de los nutrientes en el suelo, en el crecimiento de las palmas y en el rendimiento.

El ensayo se organizó para estudiar los efectos de sembrar palmas jóvenes directamente en las pilas de residuos (adoptado como una técnica innovadora de resiembra) para reducir la utilización de fertilizantes inorgánicos. Los objetivos del estudio fueron:

- Estudiar la dinámica de los nutrientes del suelo debida al manejo de residuos durante la resiembra en el traspaso de nutrientes a las palmas jóvenes
- Determinar recomendaciones apropiadas de fertilizante para reducir la utilización de fertilizantes inorgánicos sin afectar el rendimiento

- Estudiar el efecto de la frecuencia de aplicación de fertilizantes en el crecimiento y el rendimiento de la palma
- Proporcionar información útil a la industria sobre cómo manejar efectivamente los residuos de palma durante la resiembra para bajar costos y reducir la utilización de fertilizantes inorgánicos.

## Materiales y métodos

### Sitio del estudio y manejo de residuos

Este ensayo se estableció en octubre de 2003 en la plantación Rengam Kluang, Johor (Latitud  $1^{\circ} 53.8' N$ , longitud  $103^{\circ} 24.72' E$ ) en una región de condiciones agroecológicas típicas en Malasia Occidental, en un suelo arcillo-arenoso de color rojizo-amarillo, granítico, clasificado como ultisol de la serie Rengam (Paleudult típico). Los lotes experimentales se establecieron después de talar una plantación de palma de aceite de 30 años, de primera rotación. Las palmas se sembraron a una densidad de 140/ha. Las aplicaciones normales de fertilizantes dejaron de hacerse dos años antes de la tala. El cultivo viejo se tumbó usando una excavadora equipada con un "chipping bucket". Se adoptó una técnica innovadora de manejo de residuos, donde las palmas jóvenes se siembran directamente en las pilas de residuos para mejorar la accesibilidad y eficiencia en la utilización de nutrientes (Khalid *et al.*, 2001a). Los tratamientos se establecieron inmediatamente después de talar y limpiar los lotes, de acuerdo con prácticas estándar.

### Tratamientos y diseño experimental

Seis tratamientos con diferentes tasas de aplicación de fertilizantes y dos frecuencias de aplicación se replicaron cuatro veces en un total de 48 parcelas establecidas en un diseño factorial en bloques completos al azar (RCBD). Cada parcela consistía en 8 x 8 palmas de 0,5 ha con 16 palmas registradas. Los tratamientos establecidos fueron así:

Tasas de aplicación de fertilizantes: R

R1-aplicación estándar completa (100%)—aplicación del primero al quinto año

R2 - 75% – aplicación del primero al quinto año

R3 - 50% – aplicación del primero al quinto año

R4 - 25% – aplicación del primero al quinto año

R5 – 100% (total) para los primeros 6 meses + 50% de aplicación completa (N, P, Mg + sin K) para los segundos 6 meses –aplicación el primer año.

30% de aplicación completa (N + P + sin K + sin Mg) – aplicación el segundo año

0% - Sin fertilizante –aplicación tercer año

30% de la aplicación completa – aplicación cuarto año

50% de la aplicación completa – aplicación quinto año

R6 - 0% (sin fertilizante, aplicación completa únicamente en el primer año y sin fertilizante a partir del segundo año).

Frecuencia de aplicación del fertilizante: F

F1 – dos veces al año (cada seis meses)

F2 – cuatro veces al año (cada tres meses)

La cantidad y los tipos de fertilizante para aplicación completa (100%) se muestran en la Tabla 2. Todos los fertilizantes se aplicaron al voleo en el círculo libre de malezas alrededor de las palmas.

### Análisis foliar y de suelo

Las muestras de suelo se tomaron usando un taladro de rosca, a profundidades de 0-15 cm y 15-30 cm. Para cada parcela se tomaron 10-15 muestras al azar entre las hileras del cultivo, aproximadamente a 1,5-2,0 m de la base de las palmas y cada juego de submuestras se mezcló para formar muestras compuestas para cada parcela (con peso aproximado de 2 kg). Las muestras de suelo se secaron al aire, se tamizaron y la fracción retenida de 2 mm se usó para análisis. Se determinó el N total del suelo, P disponible, C total, pH del suelo, Mg y K intercambiable en las muestras de suelo secadas al aire siguiendo procedimientos

estándar. Se realizó el muestreo y análisis foliar en la hoja 3 a los 12 meses, hoja 9 a los 24 meses y hoja 17 de los 36 meses en adelante después de la siembra, siguiendo procedimientos estándar en todas las parcelas tratadas. En cada muestreo se determinaron las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg.

### Mediciones del crecimiento de la palma y registro de rendimientos

Las mediciones del crecimiento vegetativo de las palmas se realizaron a intervalos de 12 meses después de la siembra en el campo. Las mediciones que se hicieron a los 60 meses fueron longitud de hoja, peso seco de hoja, área foliar de la hoja 17, y la altura de las palmas se midió en la hoja 41. El registro de racimos de fruta fresca (RFF) comenzó 30 meses después de la siembra en campo con cosechas a intervalos de 10 días.

## Resultados y discusión

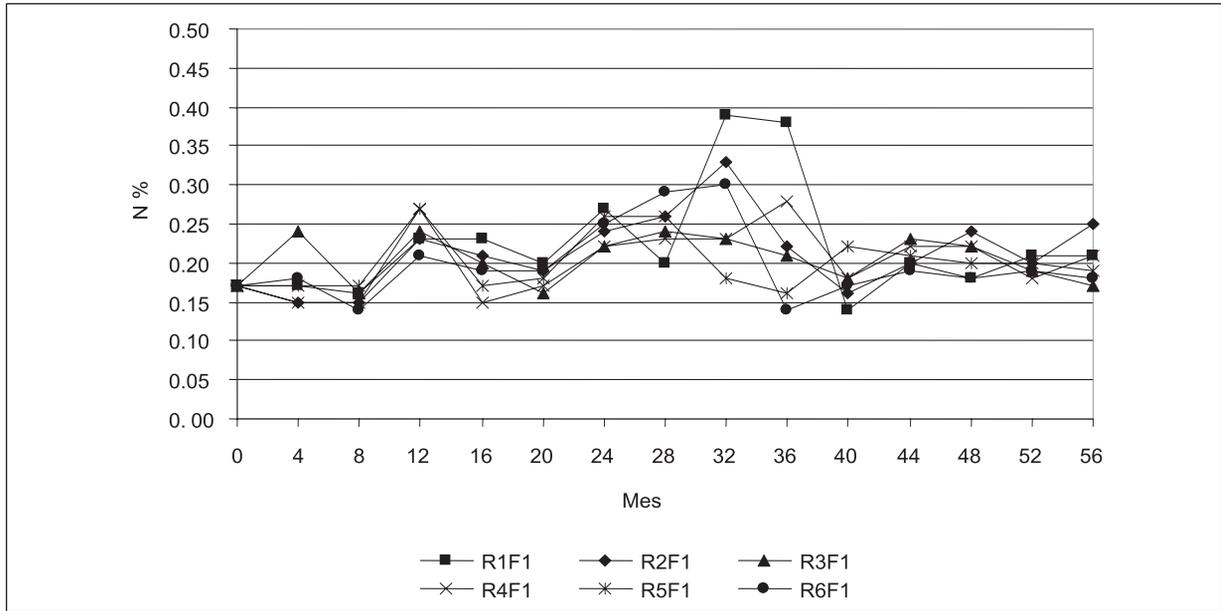
Los resultados de la dinámica de los nutrientes del suelo, el crecimiento de las palmas y el rendimiento a lo largo de un período de cinco años se evaluaron para analizar los beneficios de un manejo adecuado de residuos con base en un enfoque científico para la producción de palma de aceite.

### Dinámica de los nutrientes del suelo

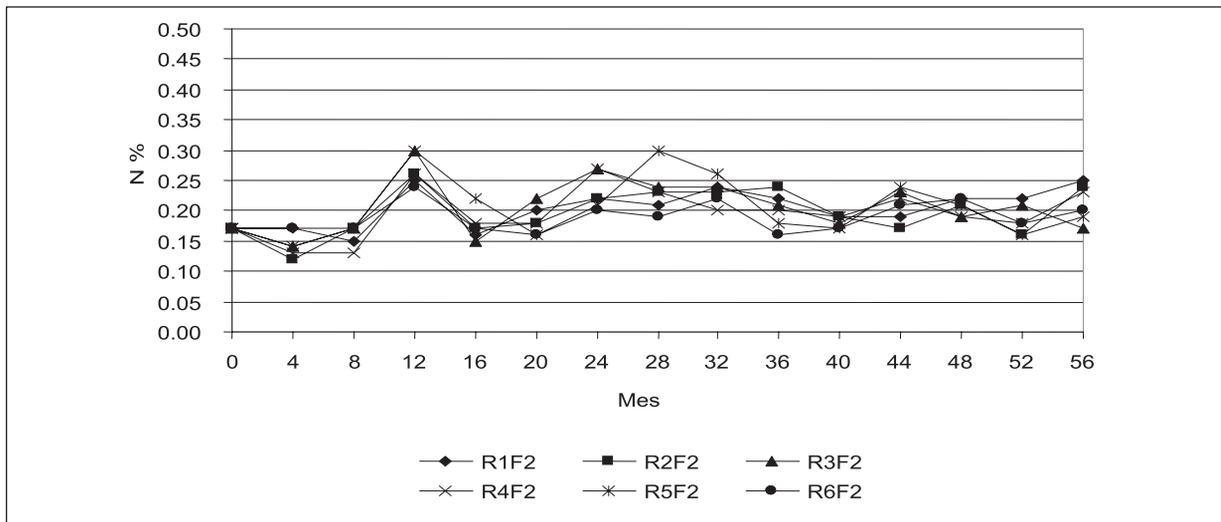
Los cambios en las propiedades químicas del suelo y en la dinámica de los nutrientes a profundidades de 0-15cm durante 56 meses, con diferentes cantidades y frecuencias de aplicación de fertilizante, del N total, P disponible, K, Mg y Ca intercambiable se compararon entre tratamientos en forma gráfica. Los anexos (1 y 2) muestran los datos del análisis químico del suelo hasta los 56 meses a frecuencias F1 y F2 de aplicación de fertilizantes respectivamente. El tratamiento R6 que se hizo con fertilizante inorgánico hasta los 12

**Tabla 2.** Cantidad y tipos de fertilizantes al 100%

Fertilizante	Año (kg/palma/año)				
	1 <sup>er</sup> año	2 <sup>o</sup> año	3 <sup>er</sup> año	4 <sup>o</sup> año	5 <sup>o</sup> año
Sulfato de amonio	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
CIRP	1.0	1.5	2.0	2.5	2.5
Muriato de potasa	0.5	1.0	1.5	3.0	3.5
Kieserita	0.5	1.0	1.5	1.5	2.0



**Figura 2a.** Cambios en N total del suelo (%) a 0-15cm de profundidad con el tiempo, en relación con diferentes tasas (R) y frecuencia (F1) de aplicación de fertilizantes.

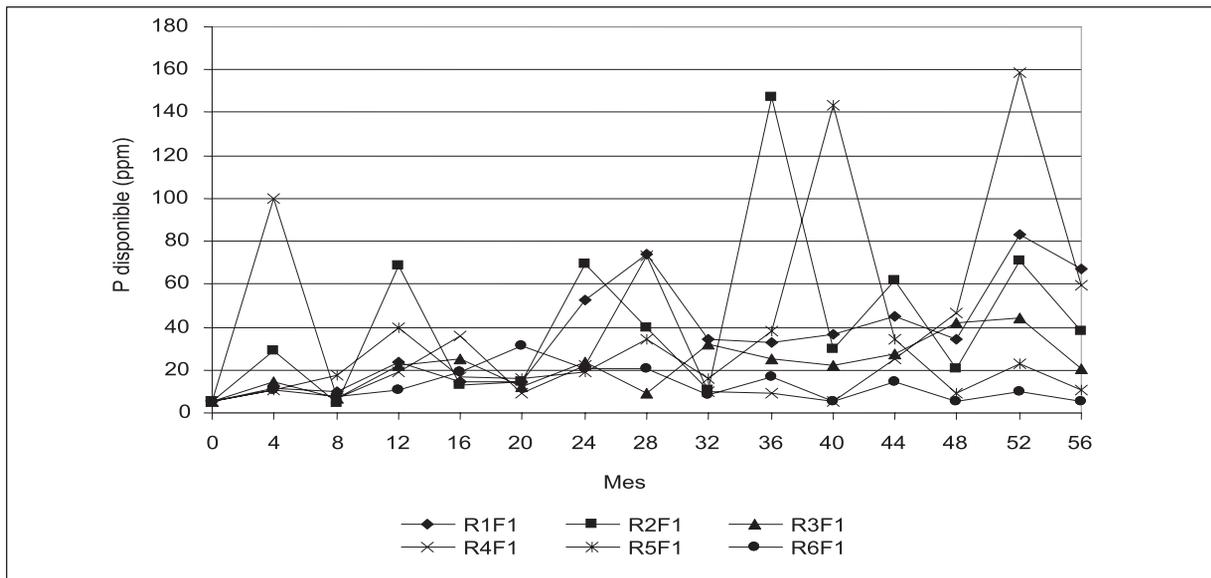


**Figura 2b.** Cambios en N total del suelo (%) a 0-15cm de profundidad con el tiempo, en relación con diferentes tasas (R) y frecuencia (F2) de aplicación de fertilizantes.

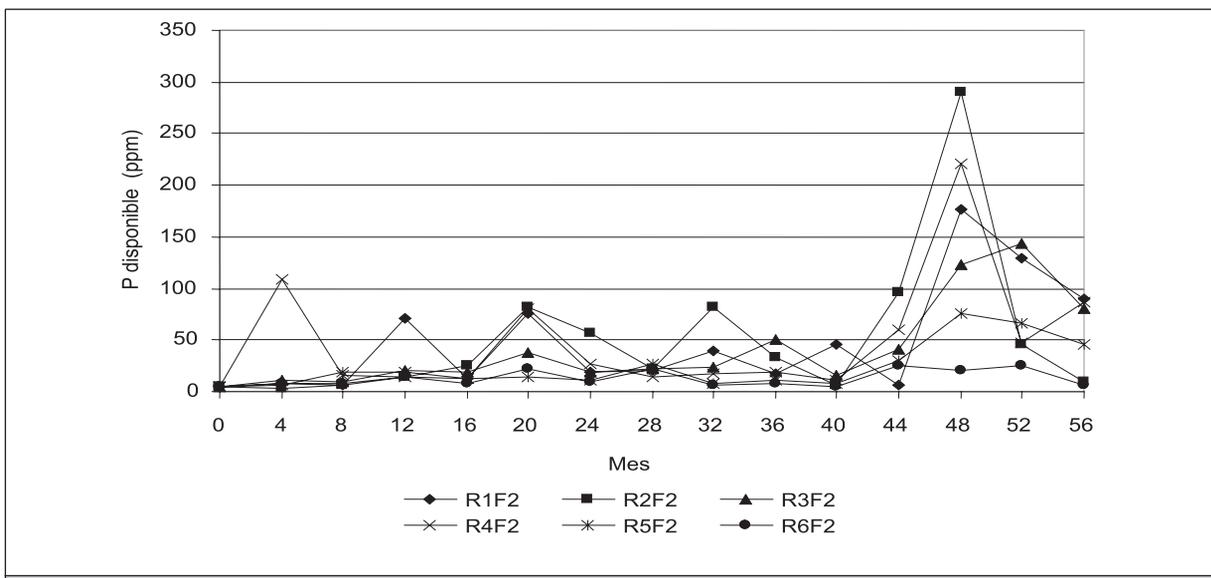
meses y sin fertilizante de ahí en adelante se usó como indicador para observar las tendencias de liberación de nutrientes de residuos en descomposición.

Como se muestra en la Figura 2a, los niveles iniciales de N total en el suelo en todos los tratamientos tenían un valor de 0,17%. Se presentaron tendencias crecientes de liberación de N, especialmente después de los 8 meses debido a la aplicación de residuos, trazando la línea del tratamiento R6F1. A partir de los 8 meses, el N total en el suelo aumentó gradualmente en todos los tratamientos (aunque los niveles fluctuaban debido a la

aplicación de fertilizantes), llegando al punto máximo entre los 24-32 meses. A los 32 meses el tratamiento R6 sin aplicación de fertilizante tenía un valor de 0,30% de N total. El tratamiento R1, que recibió fertilización completa, obtuvo el valor más alto de 0,39% de N total, aunque el valor no fue significativo comparado con los otros tratamientos. A partir de los 36 meses, el N total en el suelo mostró una tendencia a la baja en todos los tratamientos y los valores tendieron a estabilizarse de ahí en adelante fluctuando entre 0,14% N-0,25% N hasta los 56 meses. Tendencias similares



**Figura 3a.** Cambios en P disponible en el suelo (ppm) a 0-15cm de profundidad con el tiempo, en relación con diferentes tasas (R) y frecuencia (F1) de aplicación de fertilizantes.

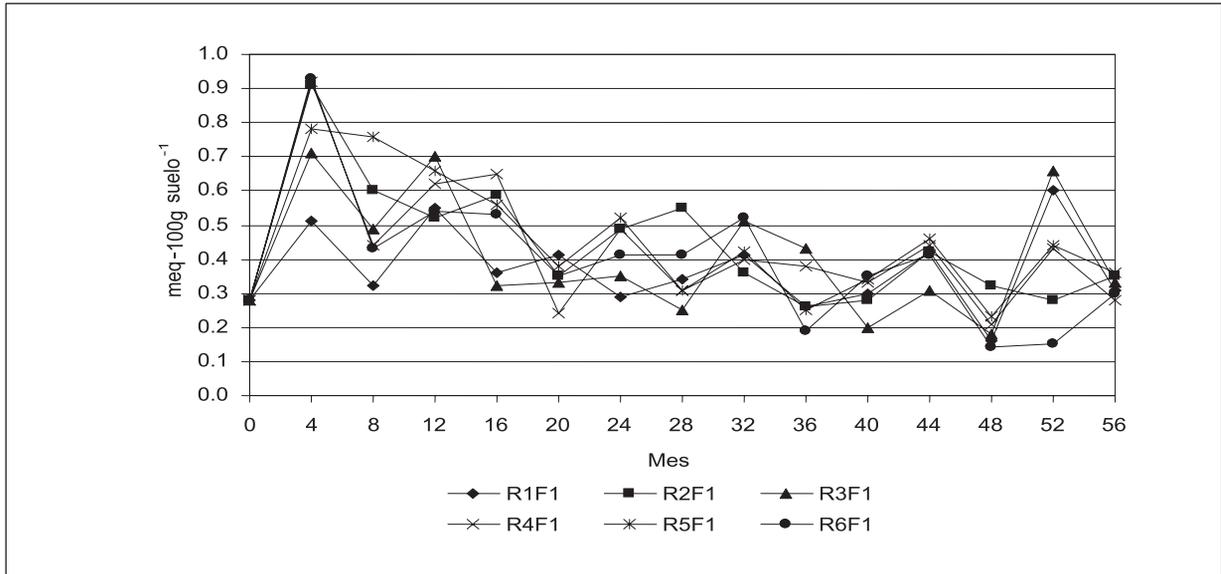


**Figura 3b.** Cambios en P disponible en el suelo (ppm) a 0-15cm de profundidad con el tiempo, en relación con diferentes tasas (R) y frecuencia (F2) de aplicación de fertilizantes.

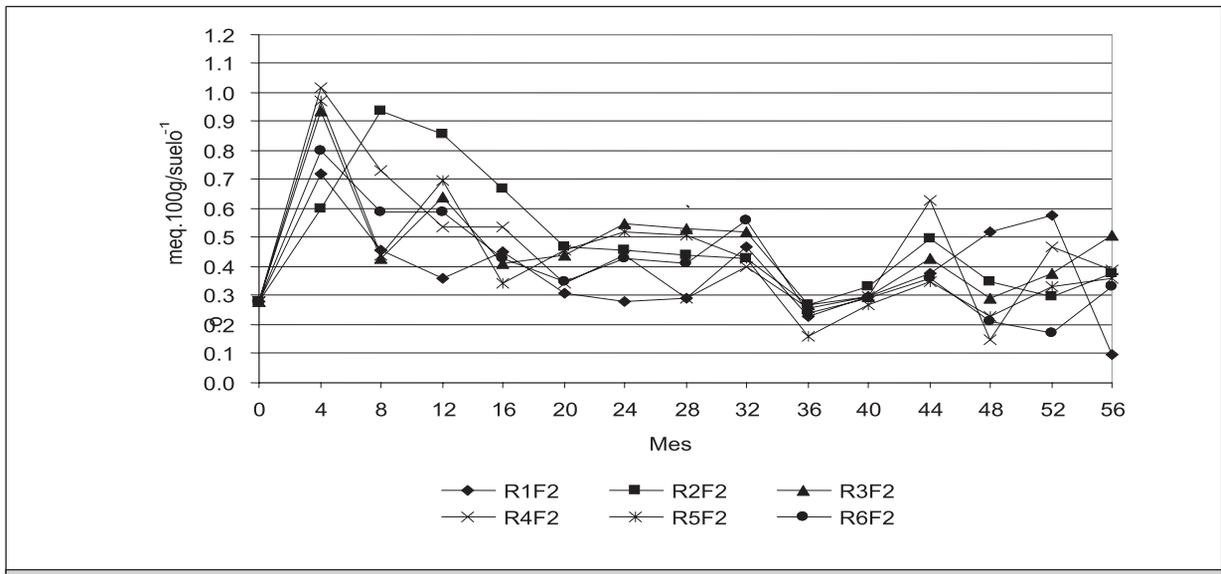
en los niveles de N total en el suelo se observaron en el tratamiento F2 (Figura 2b) con frecuencias de aplicación de fertilizante de cuatro veces al año.

La Figura 3a muestra la concentración de P disponible para el tratamiento R6 a frecuencia de aplicación F1, entre 5,46 ppm (nivel inicial) y 31,09 ppm a los 5 años. El P disponible en el tratamiento R6 venía principalmente de residuos en descomposición. Se observó un pequeño aumento en los niveles de P disponible en el tratamiento R6 especialmente entre los 16-28 meses probablemente debido a la mineralización del P de

los residuos. Esto es paralelo a pequeñas cantidades de P disponible en los residuos de palma. Para otros tratamientos, el P disponible tendió a aumentar y fluctuar con el tiempo debido a la aplicación de roca fosfórica. Tendencias similares se observaron para todos los tratamientos con fertilizante a frecuencias de aplicación F2 (Figura 3b). En general, los niveles de P disponible en el suelo para todos los tratamientos fueron variables, probablemente debido al efecto residual del P y fijación de P de aplicaciones anteriores de roca fosfórica.



**Figura 4a.** Cambios en potasio intercambiable en el suelo a 0-15cm de profundidad con el tiempo, en relación con diferentes tasas (R) y frecuencia (F1) de aplicación de fertilizantes.

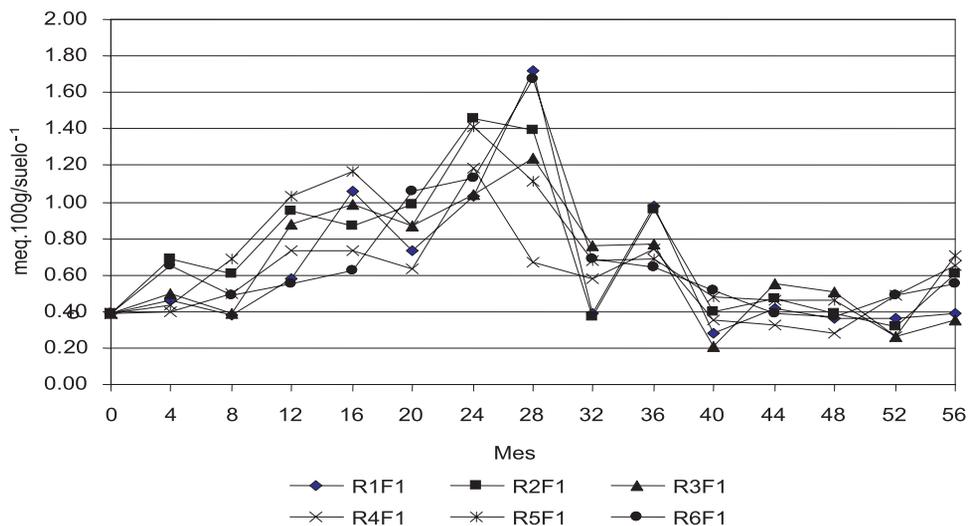


**Figura 4b.** Cambios en potasio intercambiable en el suelo a 0-15cm de profundidad con el tiempo, en relación con diferentes tasas (R) y frecuencia (F2) de aplicación de fertilizantes.

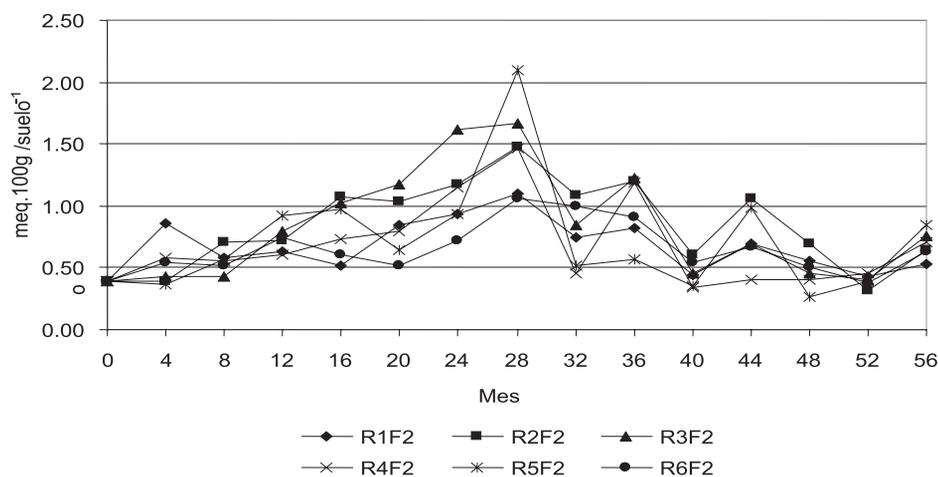
Las figuras 4a y 4b muestran las concentraciones de K intercambiable en el suelo con diferentes cantidades de fertilizante aplicado y a frecuencias F1 y F2, respectivamente. El nivel inicial de K intercambiable a frecuencia F1 fue 0,28 meq.100/g de suelo en todos los tratamientos. Se observó la rápida liberación de K de residuos en descomposición a los cuatro meses después de la siembra. El K intercambiable para todos los tratamientos (R) y frecuencias de aplicación F1 alcanzaron valores máximos que fluctuaron entre 0.51 y 0.93 meq. 100/g de suelo y de ahí en adelante

los niveles de K intercambiable para todos los tratamientos tendieron a disminuir y algunos fluctuaron con el tiempo.

El nivel de K intercambiable en el tratamiento F6, que no recibió fertilizante después de 12 meses, permaneció alto con valores que fluctuaron entre 0,54 y 0,41 meq. 100/g de suelo hasta los 44 meses, excepto a los 36 meses, pero fue más alto que el valor inicial. Estos patrones se mantuvieron a lo largo de 44 meses, aunque las concentraciones de K intercambiable tendieron



**Figura 5a.** Cambios en magnesio intercambiable del suelo a 0-15cm de profundidad con el tiempo, en relación con diferentes tasas (R) y frecuencia (F1) de aplicación de fertilizantes.

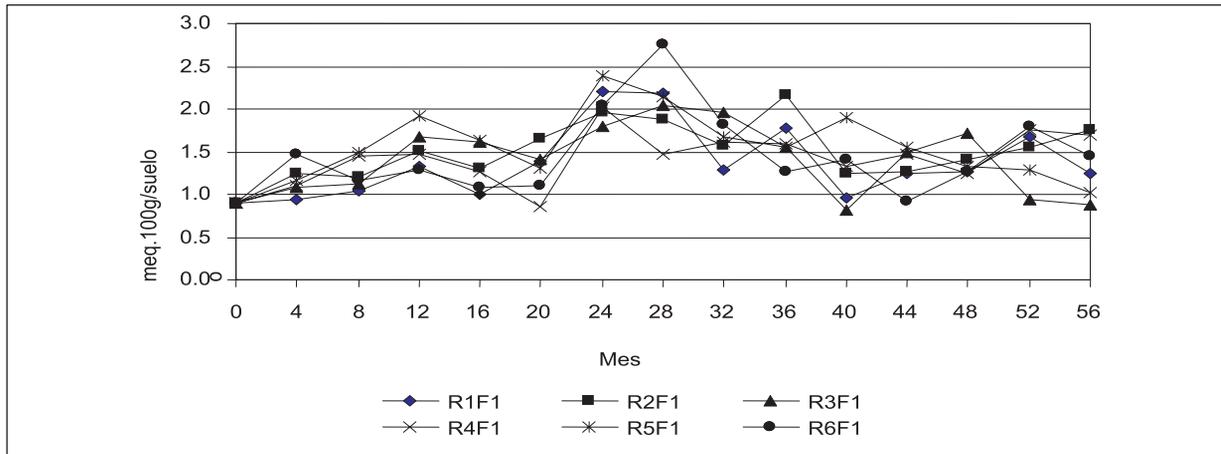


**Figura 5b.** Cambios en magnesio intercambiable del suelo a 0-15cm de profundidad con el tiempo, en relación con diferentes tasas (R) y frecuencia (F2) de aplicación de fertilizantes.

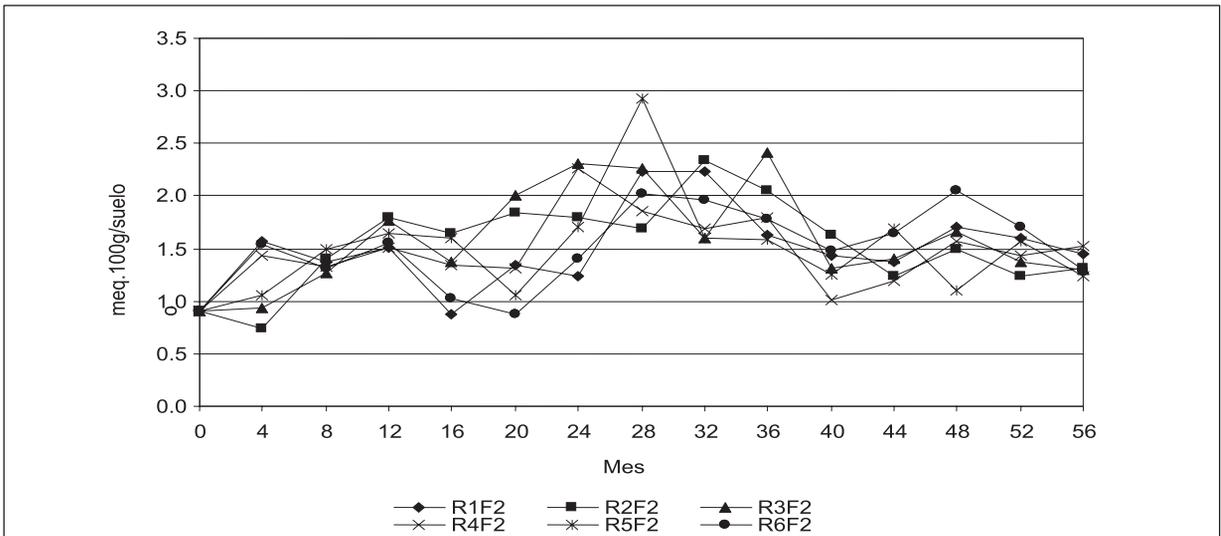
a disminuir de ahí en adelante. Las concentraciones presentaron una disminución en el muestreo a los 48 meses, indicando que el suministro de K de la aplicación de residuos de cosecha o las reservas de K se agotaron debido a la rápida absorción por parte de las palmas en crecimiento. Una porción significativa de K pudo haber sido inmovilizada en la palma y en la biomasa de las leguminosas de cobertura. Los crecientes niveles después de los 48 meses probablemente se deben a las legumbres en descomposición donde el cultivo de leguminosas de cobertura se convierte en fuente transitoria y libera nutrientes cuando comienza a morir (Khalid *et al.*, 2000c).

La adición de fertilizantes inorgánicos para otros tratamientos F1 mostró algún incremento en K intercambiable del suelo, aunque los niveles tendieron a fluctuar con el tiempo. Tendencias similares se observaron en el tratamiento F2 (Figura 4b).

Las concentraciones de Mg intercambiable a diferentes tasas de aplicación de fertilizantes (R) y a frecuencias de aplicación F1 y F2 se muestran en las figuras 5a y 5b, respectivamente. Los niveles de Mg intercambiable tendieron a aumentar 8 meses después de la siembra y llegaron al máximo a los 28 meses con un valor de 1,67 meq.100/g de suelo en el tratamiento R6T1, y



**Figura 6a.** Cambios en calcio intercambiable del suelo a 0-15cm de profundidad con el tiempo, en relación con diferentes tasas (R) y frecuencia (F1) de aplicación de fertilizantes.



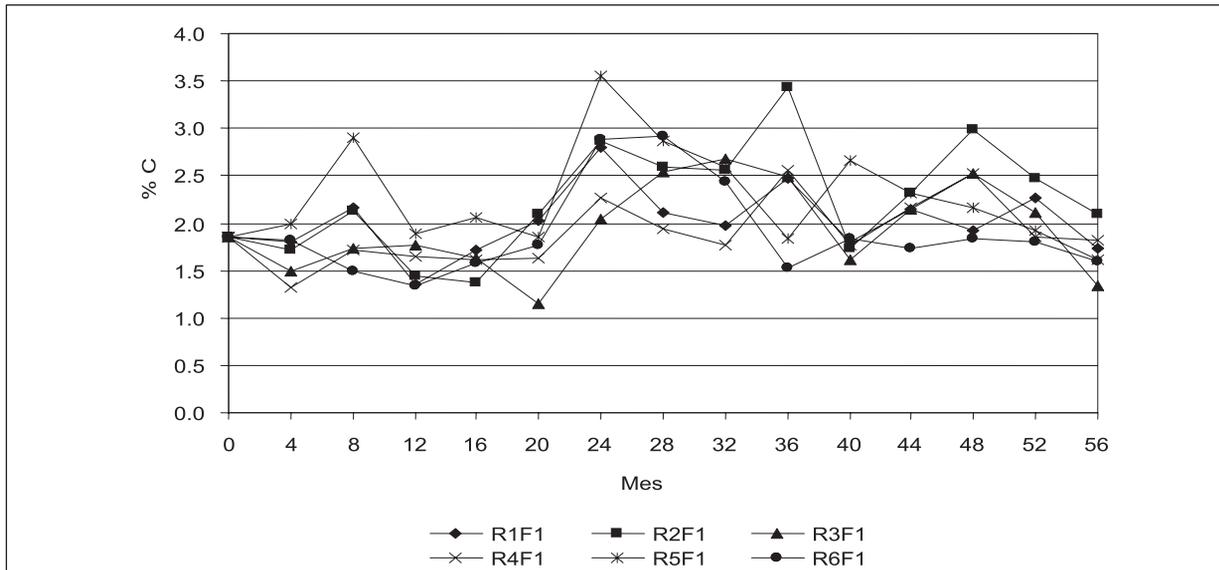
**Figura 6b.** Cambios en calcio intercambiable del suelo a 0-15cm de profundidad con el tiempo, en relación con diferentes tasas (R) y frecuencia (F2) de aplicación de fertilizantes.

con un valor muy similar de 1,72 meq. 100/g de suelo en el tratamiento R1T1 donde se hizo una aplicación estándar completa de fertilizantes inorgánicos. De allí en adelante el Mg intercambiable disminuyó gradualmente con el tiempo con un valor de 0,55 meq. 100/g de suelo (R6F1) a los 56 meses. Tendencias similares se observaron en los tratamientos R1 y R2 aunque los valores fluctuaron con el tiempo.

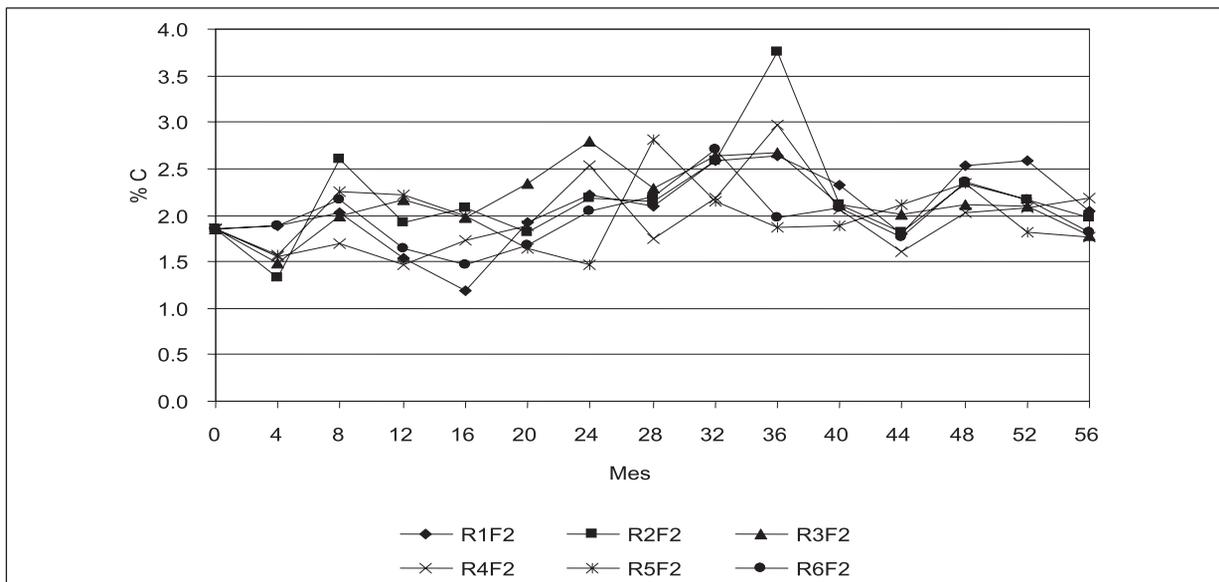
Las figuras 6a y 6b muestran los cambios de Ca intercambiable en el suelo con diferentes tasas (R) y frecuencias de aplicación F1 y F2, respectivamente. Además de la contribución de los residuos en descomposición, la aplicación de roca fosfórica logró aumentar el Ca intercambiable del suelo. Los niveles de Ca intercambiable también aumentaron

siguiendo la misma tendencia del Mg pero no en la misma cantidad, indicando características muy similares de liberación de estos elementos en los residuos en descomposición y esto concuerda con la investigación realizada por Khalid *et al.* (2000b) sobre descomposición de residuos de palma, donde encontraron que la tasa de liberación de Ca era muy similar a la de Mg.

En general, como se indica en el tratamiento F6, que recibió fertilizantes inorgánicos únicamente durante el primer año, los resultados de la dinámica de los nutrientes en el suelo sugieren que grandes cantidades de nutrientes fueron liberados durante los primeros estados de crecimiento de la palma por los residuos de palma de aceite en descomposición. Los nutrientes



**Figura 7a.** Cambios en carbono orgánico del suelo a 0-15cm de profundidad con el tiempo, en relación con diferentes tasas (R) y frecuencia (F1) de aplicación de fertilizantes.



**Figura 7b.** Cambios en carbono orgánico del suelo a 0-15cm de profundidad con el tiempo, en relación con diferentes tasas (R) y frecuencia (F2) de aplicación de fertilizantes.

de los residuos en descomposición fueron liberados a lo largo de un período relativamente largo mediante procesos de lixiviación y mineralización con un aumento gradual en la solución del suelo entre los 12 y 36 meses. El aumento de nutrientes como consecuencia de la aplicación de fertilizantes inorgánicos se pudo observar en los tratamientos R1, R2, R3, R4 y R5, aunque en algunos casos el aumento no fue significativo, indicando que fueron amortiguados por los nutrientes liberados de los residuos en descomposición.

## Acumulación de materia orgánica en la superficie del suelo y el carbono orgánico del suelo

Una inspección de las áreas cubiertas con residuos de palma mostró excelentes propiedades estructurales del suelo mantenidas con la aplicación de materia orgánica y las actividades de la fauna del suelo. Se encontró que la fracción de carbono liviano, que se define como el carbono que no está ligado al suelo



mineral y que está dentro de la categoría de menos de 2 mm en tamaño en la superficie del suelo bajo los desechos, se acumula en el área cubierta con residuos. Esto se considera como un componente inestable de la materia orgánica del suelo y su tasa de conversión depende de la calidad de los insumos orgánicos aplicados. La fracción de carbono liviano contenía mayores concentraciones de nutrientes comparada con el suelo mineral. Por ejemplo, las concentraciones de N y K eran entre cinco y dos veces mayores que en el suelo mineral, respectivamente. La proporción C:N de la fracción de C liviano normalmente fluctuó entre 17:1 y 19:1, en su mayoría contenido en el material vegetal parcialmente descompuesto (Khalid *et al.*, 2001b).

La aplicación de residuos de palma también afectó directamente los niveles de carbono orgánico en el suelo. Las figuras 7a y 7b muestran las tendencias del carbono orgánico como resultado de la aplicación de residuos de palma con diferentes tasas (R) y frecuencias de aplicación (F1) y (F2) respectivamente. El nivel inicial de carbono orgánico total fue de 1,86% C para los dos tratamientos F1 y F2. El nivel de carbono orgánico llegó al máximo a los 24 y 28 meses con valores de 2,89% y 2,91% respectivamente, en el tratamiento R6 y con frecuencia de aplicación de

fertilizante F1. Tendencias similares se observaron en otros tratamientos (R) con frecuencias de aplicación de fertilizante F1 y F2. En general, el carbono orgánico total aumentó en todos los tratamientos en comparación con el valor inicial. Esto indica que los residuos de palma dejados en el sitio durante la resiembra lograron aumentar los niveles de carbono orgánico en el suelo, lo que ayuda a mejorar la calidad del suelo.

## Crecimiento de la palma y componentes del rendimiento

El crecimiento de las palmas y la absorción de nutrientes por las palmas nuevas fueron normalmente afectados por los diferentes manejos de residuos y tratamientos con fertilizantes. Los datos de nutrientes foliares y mediciones vegetativas se resumen en las tablas 3 y 4, respectivamente.

Los niveles foliares de N, P, K y Mg de palmas de 5 años de edad registrados en todos los tratamientos no mostraron diferencias significativas en las muestras tomadas a los 60 meses (Tabla 3). Las concentraciones foliares de N fueron de 2,79% (tratamiento R4F1) y 3,04% (tratamiento R1F2) después de cinco años de tratamiento. Las concentraciones foliares

**Tabla 3.** Contenido foliar de nutrientes en palmas de 5 años de edad a diferentes cantidades y frecuencias de aplicación de fertilizante

Tratamiento	Contenido de nutrientes(%)				
	N	P	K	Ca	Mg
R1F1	2,89	0,160	1,25	0,68	0,42
R1F2	3,04	0,161	1,20	0,66	0,41
R2F1	2,84	0,156	1,21	0,60	0,45
R2F2	2,90	0,159	1,22	0,65	0,44
R3F1	2,85	0,159	1,30	0,62	0,41
R3F2	2,88	0,162	1,16	0,65	0,44
R4F1	2,79	0,162	1,20	0,67	0,43
R4F2	2,81	0,156	1,22	0,66	0,45
R5F1	2,85	0,157	1,24	0,62	0,42
R5F2	2,80	0,157	1,15	0,69	0,44
R6F1	2,88	0,157	1,21	0,62	0,41
R6F2	2,81	0,155	1,22	0,68	0,42
Mean	2,88	0,158	1,21	0,65	0,43
MSE	0,036	0,00007	0,014	0,003	0,0017
LSD*(RF)	0,27	0,012	0,17	0,08	0,06
LSD*(F1)	0,34	0,014	0,16	0,09	0,06
LSD*(F2)	0,21	0,012	0,19	0,07	0,07

(Nota: Muestreo al quinto año después de la siembra en el campo; las cifras son promedios de cuatro replicaciones.

\* Significativo a P=0,05)

de P a los 60 meses fueron de 0,155% en el tratamiento R6F2 y 0,162% en los tratamientos R3F2 y R4F1. La concentración foliar de K a los 60 meses fluctuó entre 1,15% en el tratamiento R5F2 y 1,30% en el tratamiento R3F1. El contenido foliar de Mg en todos los tratamientos fluctuó entre 0,41 y 0,45%. En general, los niveles foliares de nutrientes en todos los tratamientos con aplicación de fertilizante fueron satisfactorios para el crecimiento óptimo de la palma, en comparación con el tratamiento sin aplicación de fertilizantes (tratamiento R6).

Lo anterior indica que la absorción de nutrientes del suelo para ambos tratamientos fue influenciada por las prácticas de manejo de residuos de cosecha. Los residuos pueden afectar la liberación de nutrientes (mediante procesos de mineralización) de las aplicaciones sobre y bajo el suelo, dando por resultado mejor absorción por las palmas. Las aplicaciones adicionales de fertilizante y la mayor frecuencia de aplicación no produjeron aumentos significativos en la concentración de nutrientes a lo largo del período de cinco años.

La Tabla 4 muestra los datos de parámetros de crecimiento vegetativo para todos los tratamientos. Las mediciones de crecimiento vegetativo en palmas de

cinco años de edad no mostraron diferencias significativas en los parámetros de crecimiento de longitud de hoja, área foliar total, peso seco de la hoja 17, y altura de la palma en todos los tratamientos con diferentes cantidades y frecuencias de aplicación de fertilizantes. El crecimiento de las palmas no se vio afectado por la reducción en la aplicación de fertilizantes, aun en los tratamientos R6 (R6F1 y R6F2) que no recibieron fertilizante a partir del segundo año. Esto indica que el suelo tiene una reserva de nutrientes que fueron liberados de los residuos de palma en descomposición a lo largo de los cinco años y la respuesta del crecimiento fue paralela a los datos de nutrientes del suelo. La aplicación adicional de fertilizantes durante el periodo no mejoró el crecimiento de las palmas en forma significativa.

En general, los resultados de niveles foliares de nutrientes y crecimiento vegetativo demuestran la importancia de la aplicación de residuos de cosecha en el suministro de nutrientes para el crecimiento de las palmas. Las concentraciones de nutrientes y la biomasa de palma mostraron que se logró una mayor sincronía entre la liberación de nutrientes y la absorción por parte de la planta (en parcelas sin aplicación de fertilizante – tratamientos R6), debido a la

**Tabla 4.** Crecimiento vegetativo de palmas de 5 años de edad a diferentes cantidades y frecuencias de aplicación de fertilizante

Tratamiento	Longitud de hoja (cm)	Área total hoja (m <sup>2</sup> )	Peso seco (kg)	Altura de palma(cm)
R1F1	474,33	6,33	2,50	76,55
R1F2	471,63	5,98	2,60	79,93
R2F1	455,75	5,75	2,72	65,30
R2F2	468,75	5,80	2,39	70,35
R3F1	479,30	5,95	2,72	75,68
R3F2	469,05	5,83	2,42	76,53
R4F1	456,75	5,68	2,23	71,15
R4F2	455,23	5,78	2,34	69,18
R5F1	463,50	5,60	2,25	68,03
R5F2	480,00	6,08	2,57	75,60
R6F1	478,30	5,90	2,41	75,68
R6F2	475,48	5,88	2,36	72,00
MEAN	468,99	5,88	2,46	73,00
MSE	733,15	0,303	0,106	253,44
LSD*(RF)	38,83	0,79	0,47	22,83
LSD*(F1)	37,21	0,92	0,56	24,67
LSD*(F2)	43,03	0,69	0,38	22,58

(Nota: La cifras son promedios de 4 replicaciones. \* Significativo a P=0,05)



liberación temporal y espacial de nutrientes con la implementación de la técnica innovadora de resiembra, sembrando palmas jóvenes en las hileras de residuos. Sin embargo, esto no se practica completamente en los sistemas convencionales de resiembra donde los residuos se colocan lejos de la zona radical de las nuevas palmas.

La Tabla 5 muestra el rendimiento de RFF y los componentes del rendimiento de las palmas nuevas para todos los tratamientos (R) y frecuencias de aplicación de fertilizante (F) durante tres años.

En el primer año el rendimiento de RFF para todos los tratamientos fluctuó entre 4,32 y 5,30 t/ha/año. Los tratamientos R3F1 y R3F2, que recibieron únicamente el 50% del fertilizante, registraron el rendimiento más alto con valores de 5,30 t/ha/año y 5,25 t/ha/año respectivamente, aunque no fue significativo en comparación con los otros tratamientos. Para el segundo año, el rendimiento de RFF fluctuó entre 6,97 y 9,15 t/ha/año con un rendimiento promedio de RFF de 7,97 t/ha/año.

Los tratamientos R6, que no recibieron fertilizante a partir del segundo año, produjeron 8,25 t/ha/año (tratamiento R6F1) y 9,15 t/ha/año (tratamiento R6R2).

Adicionalmente, las parcelas que recibieron 50% de fertilizante (R3) produjeron entre 7,59 y 8,45 t/ha/año, resultados muy similares a los de las parcelas que recibieron 100% de fertilizante (tratamiento R1). En el tercer año, los rendimientos de RFF fluctuaron entre 16,46 y 20,29 t/ha/año con un promedio de 18,02 t/ha/año. Asimismo, los tratamientos R6 que no recibieron fertilizante a partir del segundo año, produjeron 16,87 t/ha/año para el tratamiento R6F1 y 17,10 t/ha/año para el tratamiento R6F2. De igual forma, las parcelas que recibieron 50% del fertilizante (tratamientos R3) produjeron 20,29 t/ha/año para el tratamiento R3F1 y 18,82 t/ha/año para el tratamiento R3F2 y fueron comparables con las parcelas que recibieron 100% de fertilizante (tratamiento R1) que registraron producciones de 16,82 t/ha/año para el tratamiento R1F1 y 18,43 t/ha/año para el tratamiento R1F2. Para los tratamientos R2, R4 y R5, los rendimientos fueron comparables a los de los tratamientos R1, R3 y R6 en las dos frecuencias de aplicación de fertilizante F1 y F2.

En general, en los tres años, los tratamientos (R) y frecuencias de aplicación de fertilizante (F) no mostraron diferencias significativas en rendimientos y sus componentes (Ej. número de racimos por palma y peso promedio de racimo). Las tendencias del rendimiento

**Tabla 5.** Rendimientos de RFF en cosechas de tres años a diferentes cantidades y frecuencias de aplicación de fertilizantes

Tratamiento	Rendimiento RFF (t/ha/año)			No. Racimos palma/año			Peso racimo (kg)		
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 1	Año 2	Año 3	Año 1	Año 2	Año 3
R1F1	4,51	7,58	16,82	8,97	12,08	15,58	3,38	5,68	9,74
R1F2	4,48	7,88	18,43	8,81	11,52	17,04	3,44	6,10	9,74
R2F1	4,92	7,58	18,80	9,46	12,35	17,44	3,50	5,68	9,82
R2F2	4,32	9,03	19,08	8,72	13,59	18,40	3,35	6,03	9,51
R3F1	5,30	8,45	20,29	9,21	11,90	16,86	3,92	6,40	10,71
R3F2	5,25	7,59	18,82	9,61	10,90	16,84	3,69	6,35	10,16
R4F1	4,78	6,98	16,68	8,74	11,58	15,84	3,53	5,48	9,56
R4F2	4,77	6,97	16,46	8,69	10,98	15,33	3,68	5,78	9,53
R5F1		4,07	7,87	17,97	8,05	11,15	16,02	3,44	6,23
R5F2		5,05	8,39	18,88	9,00	11,94	16,69	3,78	6,40
R6F1		4,84	8,25	16,87	9,25	11,67	15,77	3,48	6,43
R6F2		4,94	9,15	17,10	8,97	12,71	15,71	3,64	6,55
MEAN	4,77	7,97	18,02	8,95	11,86	16,46	3,67	6,09	9,83
MSE(RF)	1,48	3,79	9,72	2,11	6,70	8,81	0,24	1,03	1,03
LSD*(RF)	1,75	2,79	4,47	2,12	3,71	4,26	0,70	1,46	1,46
LDS*(F1)	1,89	2,89	4,29	2,39	3,80	4,13	0,70	1,47	1,62
LSD*(F2)	1,73	2,90	4,95	1,99	3,89	4,67	0,75	1,54	1,39

(Nota: Primer año de cosecha registrado a los 30 meses después de la siembra. Las cifras son promedios de 4 replicaciones; \*Significativo a P=0,05).

para todos los tratamientos fueron muy similares durante los tres años. Esto indica que el suelo tiene una rica reserva de nutrientes que se ha venido liberando de los residuos de palma en descomposición, y la aplicación recomendada de 50% de fertilizante fue suficiente para el crecimiento de la palma y para lograr un rendimiento óptimo. Un ahorro de alrededor del 50% en aplicación de fertilizantes puede reducir los costos de producción. Los rendimientos para todos los tratamientos coincidieron con la concentración foliar de nutrientes óptima y el crecimiento vegetativo de las palmas.

Los rendimientos de la palma de aceite en este ensayo fueron comparables con los rendimientos en estudios anteriores (Khalid *et al.*, 1999c, 2001b). Las estadísticas en las tablas 3, 4 y 5 sugieren que una reducción del 50-75% en fertilizantes durante un período de cinco años no afecta el crecimiento y el rendimiento de la palma de aceite.

## Conclusiones

La producción sostenible de palma de aceite con la implementación de buenas prácticas agrícolas, como el reciclaje de nutrientes de residuos de palma durante la resiembra, que puede reducir el consumo de fertilizantes inorgánicos y por tanto el calentamiento global, es la solución ideal para mitigar los efectos adversos sobre el medio ambiente.

La política de cero quemadas adoptada para la resiembra de palma de aceite es un buen ejemplo del desarrollo de prácticas más sostenibles basadas en la ciencia del suministro de nutrientes y el manejo de residuos orgánicos. Las prácticas garantizan no solamente un ambiente libre de neblina trans-fronteriza y contaminación por humo, sino que también proporcionan un método sostenible de conservación de la fertilidad del suelo, junto con una reducción en las aplicaciones de fertilizantes inorgánicos.

Los residuos de la palma de aceite durante la resiembra contienen cantidades significativas de nutrientes

que pueden ser reciclados y utilizados por las nuevas palmas jóvenes. El manejo apropiado de estos residuos puede mejorar el traspaso de las reservas de nutrientes a las nuevas palmas en el siguiente ciclo de cultivo. Esto podría proporcionar buena parte de los nutrientes requeridos por las palmas para mantener niveles foliares óptimos y, por tanto, reducir la utilización de fertilizantes inorgánicos.

A lo largo de cinco años de cultivo de palma de aceite, la técnica innovadora de resiembra redujo la utilización de fertilizantes inorgánicos por lo menos en 50% de la aplicación estándar y fue suficiente para mantener un nivel óptimo de nutrientes en el suelo para el crecimiento de las palmas. Sin embargo, aparentemente después de los cinco años los nutrientes del suelo comienzan a agotarse y se deben hacer aplicaciones completas de fertilizantes para no afectar el rendimiento de las palmas.

Los diferentes tratamientos y frecuencias de aplicación de fertilizantes no mostraron diferencias significativas en términos de absorción de nutrientes, crecimiento y rendimiento de las palmas, probablemente debido a los nutrientes derivados de los residuos en descomposición. Se concluye que el manejo apropiado de la biomasa de la palma de aceite para el reciclaje y nutrientes se debe optimizar dentro del marco de las prácticas de manejo actuales, como una forma de mejorar la sostenibilidad de las plantaciones y evitar emisiones de gases de invernadero que influyen en el calentamiento global.

## Agradecimientos

El proyecto se realizó en cooperación con EPA Management Sdn. Bhd. y se agradece la ayuda brindada por el personal administrativo de Rengam Estate Kluang. Los autores también desean reconocer y agradecer al Director General del MPOB por permitir presentar este documento, al igual que la discusión con el Director de la División de Biología de la misma entidad.



## Bibliografía

- FAO. 2007. FAOSTAT Online Statistical Service. Available from: <http://faostat.fao.org>. United Nations Food and Agriculture Organization (FAO), Rome.
- Khalid, H.; Zin, ZZ; Anderson, JM. 1996. Management of palm residues using various replanting techniques in oil palm plantations. In Ariffin Darus *et al.* (Eds.), *Proceedings of the 1996 PORIM International Palm Oil Congress 'Competitiveness for the 21<sup>st</sup> Century' – Agriculture Conference*. Palm Oil Research Institute of Malaysia, Kuala Lumpur. p. 241-253.
- Khalid, H.; Zin, ZZ; Anderson JM. 1999a. Quantification of oil palm biomass and nutrient value in a mature plantation. I. Above-ground biomass. *Journal of Oil Palm Research* 11(1): 23-32.
- Khalid, H.; Zin, ZZ; Anderson, JM. 1999b. Quantification of oil palm biomass and nutrient value in a mature plantation. II. Below-ground biomass. *Journal of Oil Palm Research* 11(2): 63-71.
- Khalid, H.; Zin, ZZ; Anderson, JM. 1999c. Effects of oil palm residues management at replanting on soil nutrient dynamics and oil palm growth. *Proceeding of the 1999 PORIM International Palm Oil Congress 'Emerging Technologies and Opportunities in the Next Millennium' – Agriculture Conference*. Palm Oil Research of Malaysia, Kuala Lumpur. p.43-54.
- Khalid, H.; Zin, ZZ.; Anderson, JM. 1999d. Mineralization of soil organic carbon and nitrogen in relation to residue management following replanting of an oil palm plantation. *Journal of Oil Palm Research* 11(2): 72-88.
- Khalid, H.; Zin, ZZ; Anderson, JM. 2000a. Soil Nutrient Dynamics and Palm Growth Performance in Relation to Residue Management Practices Following Replanting of an Oil Palm Plantations. *Journal of Oil Palm Research* 12(1):25-45.
- Khalid, H.; Zin, ZZ; Anderson, JM. 2000b. Decomposition Processes and Nutrient Release Patterns of Oil Palm Residues. *Journal of Oil Palm Research* 12(1): 46-63.
- Khalid, H, ZIN Z.Z. and ANDERSON J.M. (2000c). Nutrient cycling in an oil palm plantation: The effects of residue management practices during replanting on dry matter and nutrient uptake of young palms. *Journal of Oil Palm Research* 12(2): 29-37.
- Khalid, H.; Ariffin, D.; Zin, ZZ.; A Tarmizi, M. 2001a. An Innovative Technique on Management of Biomass During Oil Palm Replanting. *MPOB Information Series*. MPOB TT No. 101 (MIS 141) presented at MPOB Transfer of Technology Seminar, June 2001. Malaysian Palm Oil Board, Bangi, Kuala Lumpur.
- Khalid, H.; Zin, ZZ.; Ahmad, Tarmizi M. 2001b. Nutrient Cycling and Innovative Approach of Biomass Management in Oil Palm Plantation. *Proceedings of the 2001 PIPOC International Palm Oil Congress (Agriculture Conference)*. Palm Oil Research Institute of Malaysia, Kuala Lumpur. pp. 325-345.
- Khalid, H.; A Tarmizi M. 2009. Innovative Technique for Oil Palm Replanting: Savings in Fertilizer Inputs. *MPOB Information Series*. MPOB TT No. 416 (MIS 457) presented at MPOB Transfer of Technology Seminar, June 2009. Malaysian Palm Oil Board, Bangi, Kuala Lumpur.
- Mohd Hashim, T., Teoh, CH.; Kamaruzaman, A.; Mohd, A. 1993. Zero-burning – An environmentally friendly replanting technique. In: Jalani S *et al.* (Eds.). *Proceedings of the 1993 PORIM International Palm Oil Congress 'Update and Vision' – Agriculture module*. Palm Oil Research Institute of Malaysia, Kuala Lumpur. pp. 185-194.
- Oil World Annual. 2008.
- Swift, MJ (ed). 1984. Soil biological processes and tropical soil fertility (TSBF): planning for research. *Biology International* Special Issue 9: 1-24.
- Teoh, CH. 1993. Waste or by-products? – The recycling aspects of oil palm cultivation and palm oil processing. In: Jalani Sukaimi *et al.* (eds). *Proceedings of the 1993 porim International Palm Oil Congress' Update and Vision' – special joint session on Life Cycle Assessment*. Palm Oil Research Intitute of Malaysia, Kuala Lumpur. pp. 90-114.

## Apéndice 1

Cambios en la concentración de nutrientes del suelo a 0-15 cm de profundidad con el tiempo en relación a diferentes cantidades y frecuencia de aplicación de fertilizantes (f1)

Meses después del tratamiento	R1F1	R2F1	R3F1	R4F1	R5F1	R6F1	LSD
<b>N Total (%)</b>							
0	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	-
4	0,17	0,15	0,24	0,15	0,17	0,18	0,09
8	0,16	0,15	0,16	0,15	0,17	0,14	0,06
12	0,23	0,23	0,24	0,27	0,27	0,21	0,06
16	0,23	0,21	0,20	0,15	0,17	0,19	0,11
20	0,20	0,19	0,16	0,17	0,18	0,19	0,08
24	0,27	0,24	0,22	0,22	0,26	0,25	0,13
28	0,20	0,26	0,24	0,23	0,26	0,29	0,09
32	0,39	0,33	0,23	0,23	0,18	0,30	0,25
36	0,38	0,22	0,21	0,28	0,16	0,14	0,30
40	0,14	0,16	0,15	0,18	0,22	0,17	0,05
44	0,20	0,20	0,23	0,22	0,21	0,19	0,08
48	0,18	0,24	0,22	0,22	0,20	0,18	0,08
52	0,21	0,20	0,19	0,18	0,20	0,19	0,08
56	0,21	0,25	0,17	0,21	0,19	0,18	0,06
<b>P disponible (ppm)</b>							
0	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	-
4	11,81	28,68	14,39	100,06	10,30	10,96	84,44
8	9,75	4,20	6,89	7,24	17,25	7,61	8,53
12	23,31	68,38	22,08	18,89	39,48	10,55	71,60
16	14,62	13,06	25,26	36,04	16,53	19,14	23,89
20	14,14	14,44	12,27	9,32	16,05	31,09	23,21
24	52,75	69,34	23,55	21,86	18,80	20,46	79,75
28	73,65	39,84	9,40	73,37	34,69	20,38	93,31
32	34,42	10,77	32,23	10,04	16,39	8,11	21,59
36	32,46	147,21	25,40	9,51	37,95	16,62	169,94
40	36,63	29,87	22,23	5,02	143,46	5,52	145,25
44	45,14	61,70	27,79	25,38	34,63	14,14	70,20
48	34,41	20,83	42,02	46,54	9,51	5,51	61,71
52	83,50	70,70	44,00	158,60	23,20	176,60	284,44
56	67,46	38,49	20,72	59,48	10,30	5,08	78,71
<b>K intercambiable del suelo (meq 100 g/suelo)</b>							
0	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	-
4	0,51	0,91	0,71	0,92	0,78	0,93	0,75
8	0,32	0,60	0,49	0,44	0,76	0,43	0,36
12	0,55	0,52	0,70	0,62	0,66	0,54	0,48
16	0,36	0,59	0,32	0,65	0,56	0,53	0,48
20	0,41	0,35	0,33	0,24	0,38	0,35	0,16

Continúa



## Apéndice 1

Viene página anterior

Meses después del tratamiento	R1F1	R2F1	R3F1	R4F1	R5F1	R6F1	LSD
24	0,29	0,49	0,35	0,49	0,52	0,41	0,35
28	0,34	0,55	0,25	0,31	0,31	0,41	0,20
32	0,41	0,36	0,51	0,40	0,42	0,52	0,29
36	0,26	0,26	0,43	0,38	0,25	0,19	0,35
40	0,30	0,28	0,20	0,33	0,34	0,35	0,26
44	0,42	0,42	0,31	0,44	0,46	0,41	0,36
48	0,16	0,32	0,18	0,21	0,23	0,14	0,09
52	0,60	0,28	0,66	0,43	0,44	0,15	0,38
56	0,31	0,35	0,33	0,28	0,36	0,30	0,21
<b>Ca intercambiable del suelo (meq 100 g/suelo)</b>							
0	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	-
4	0,94	1,25	1,08	1,11	1,16	1,47	0,63
8	1,04	1,21	1,12	1,44	1,50	1,16	0,57
12	1,32	1,51	1,67	1,47	1,92	1,29	0,67
16	1,00	1,30	1,61	1,26	1,64	1,08	0,88
20	1,39	1,65	1,41	0,86	1,31	1,11	0,98
24	2,20	1,95	1,80	2,02	2,39	2,05	1,56
28	2,19	1,88	2,05	1,47	2,14	2,76	1,01
32	1,29	1,58	1,96	1,62	1,67	1,81	0,89
36	1,77	2,17	1,56	1,60	1,55	1,27	1,58
40	0,96	1,24	0,82	1,32	1,90	1,40	0,89
44	1,25	1,26	1,49	1,46	1,55	0,91	0,90
48	1,27	1,40	1,71	1,24	1,33	1,27	0,81
52	1,67	1,55	0,94	1,76	1,29	1,80	1,13
56	1,25	1,76	0,88	1,70	1,02	1,44	0,69
<b>Mg intercambiable del suelo (meq 100g/suelo)</b>							
0	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	-
4	0,46	0,69	0,50	0,40	0,43	0,65	0,29
8	0,38	0,61	0,39	0,50	0,69	0,49	0,33
12	0,58	0,95	0,88	0,73	1,03	0,55	0,61
16	1,06	0,87	0,99	0,73	1,17	0,62	0,75
20	0,73	0,99	0,87	0,63	0,87	1,06	0,91
24	1,03	1,46	1,04	1,19	1,41	1,13	1,03
28	1,72	1,39	1,24	0,67	1,11	1,67	0,92
32	0,39	0,37	0,76	0,58	0,68	0,69	0,49
36	0,98	0,96	0,77	0,74	0,69	0,64	0,88
40	0,28	0,40	0,21	0,35	0,47	0,52	0,34
44	0,42	0,47	0,55	0,33	0,46	0,39	0,33
48	0,36	0,39	0,51	0,28	0,46	0,37	0,24
52	0,36	0,32	0,26	0,49	0,26	0,49	0,31
56	0,39	0,61	0,35	0,65	0,71	0,55	0,37

Continúa

## Apéndice 1

Viene página anterior

Meses después del tratamiento	R1F1	R2F1	R3F1	R4F1	R5F1	R6F1	LSD
C orgánico total (%)							
0	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	-
4	1,81	1,72	1,50	1,32	1,99	1,82	0,80
8	2,17	2,13	1,74	1,72	2,90	1,50	0,87
12	1,36	1,44	1,77	1,65	1,89	1,34	1,08
16	1,71	1,38	1,63	1,61	2,06	1,58	1,26
20	2,02	2,09	1,15	1,63	1,85	1,77	1,12
24	2,80	2,86	2,05	2,27	3,56	2,89	2,04
28	2,11	2,59	2,54	1,94	2,86	2,91	1,15
32	1,97	2,56	2,67	1,76	2,59	2,43	1,53
36	2,47	3,43	2,49	2,55	1,83	1,52	1,82
40	1,80	1,73	1,62	1,76	2,66	1,84	0,99
44	2,14	2,31	2,14	2,17	2,31	1,73	0,91
48	1,92	0,99	2,53	2,52	2,16	1,83	1,18
52	2,27	2,47	2,11	1,85	1,92	1,80	1,08
56	1,74	2,10	1,34	1,82	1,62	1,59	0,61

## Apéndice 2

Cambios en la concentración de nutrientes del suelo a 0-15 cm de profundidad con el tiempo, en relación a diferentes cantidades y frecuencias de aplicación de fertilizantes (f2)

Meses después del tratamiento	R1F2	R2F2	R3F2	R4F2	R5F2	R6F2	LSD
N Total (%)							
0	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	-
4	0,17	0,12	0,14	0,13	0,14	0,17	0,06
8	0,15	0,17	0,17	0,13	0,17	0,17	0,07
12	0,25	0,26	0,30	0,26	0,30	0,24	0,10
16	0,16	0,17	0,15	0,18	0,22	0,17	0,09
20	0,20	0,18	0,22	0,18	0,16	0,16	0,07
24	0,22	0,23	0,27	0,27	0,21	0,20	0,10
28	0,21	0,23	0,24	0,23	0,30	0,19	0,06
32	0,24	0,23	0,24	0,20	0,26	0,22	0,08
36	0,22	0,24	0,21	0,20	0,16	0,16	0,11
40	0,18	0,18	0,17	0,18	0,14	0,15	0,07
44	0,19	0,17	0,23	0,22	0,24	0,21	0,11
48	0,22	0,21	0,19	0,19	0,21	0,22	0,12
52	0,22	0,16	0,21	0,18	0,16	0,18	0,08
56	0,25	0,24	0,17	0,23	0,19	0,20	0,07

Continúa



## Apéndice 2

Viene página anterior

Meses después del tratamiento	R1F2	R2F2	R3F2	R4F2	R5F2	R6F2	LSD
<b>P disponible (ppm)</b>							
0	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	-
4	8,12	3,31	11,72	108,64	6,20	7,20	93,45
8	5,59	6,82	9,92	15,15	18,91	7,18	15,79
12	71,13	13,86	19,97	13,46	19,05	14,81	79,54
16	12,38	25,39	18,47	13,14	12,13	7,98	20,89
20	76,19	81,97	37,52	80,80	14,58	22,41	98,86
24	19,15	57,44	18,93	27,27	10,48	10,05	33,92
28	19,86	21,96	21,69	14,71	27,30	21,55	23,35
32	38,90	81,95	23,41	17,96	7,14	6,11	83,52
36	17,96	33,68	50,77	19,32	11,76	8,62	43,06
40	46,05	6,01	16,11	11,20	8,01	5,15	20,27
44	7,10	95,80	40,60	59,20	27,00	165,80	213,05
48	177,20	290,70	122,60	221,20	76,20	88,80	383,29
52	128,56	46,00	143,84	47,50	66,70	25,73	184,46
56	89,50	9,11	79,82	86,37	46,34	6,28	150,58
<b>K intercambiable del suelo (meq 100g/suelo)</b>							
0	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	-
4	0,72	0,60	0,94	1,02	0,97	0,80	0,58
8	0,46	0,94	0,43	0,73	0,44	0,59	0,57
12	0,36	0,86	0,64	0,54	0,70	0,59	0,56
16	0,45	0,67	0,41	0,54	0,34	0,43	0,52
20	0,31	0,47	0,44	0,34	0,46	0,35	0,26
24	0,28	0,46	0,55	0,44	0,52	0,43	0,42
28	0,29	0,44	0,53	0,29	0,51	0,41	0,36
32	0,47	0,43	0,52	0,40	0,43	0,56	0,20
36	0,23	0,27	0,27	0,26	0,16	0,24	0,18
40	0,17	0,25	0,19	0,22	0,15	0,21	0,15
44	0,38	0,50	0,43	0,63	0,35	0,36	0,29
48	0,52	0,35	0,29	0,15	0,23	0,21	0,32
52	0,58	0,30	0,38	0,47	0,33	0,17	0,29
56	0,41	0,38	0,51	0,39	0,36	0,33	0,22
<b>Ca intercambiable del suelo (meq 100g/suelo)</b>							
0	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	-
4	1,57	0,74	0,94	1,43	1,05	1,54	0,62
8	1,37	1,41	1,27	1,33	1,49	1,31	0,69
12	1,51	1,79	1,77	1,51	1,64	1,56	0,73
16	0,88	1,65	1,37	1,35	1,60	1,02	0,94
20	1,35	1,84	2,01	1,31	1,06	0,88	0,97
24	1,24	1,79	2,31	2,27	1,70	1,41	0,86
28	2,24	1,69	2,26	1,86	2,93	2,02	1,57
32	2,23	2,34	1,60	1,69	1,60	1,96	1,23
36	1,63	2,05	2,42	1,80	1,58	1,78	1,70

Continúa

## Apéndice 2

Viene página anterior

Meses después del tratamiento	R1F2	R2F2	R3F2	R4F2	R5F2	R6F2	LSD
40	1,15	1,32	1,87	1,38	1,11	1,53	1,27
44	1,38	1,24	1,41	1,19	1,69	1,65	1,09
48	1,70	1,50	1,66	1,57	1,10	2,05	1,53
52	1,60	1,23	1,38	1,43	1,57	1,71	0,86
56	1,45	1,31	1,29	1,53	1,24	1,30	0,94
<b>Mg intercambiable del suelo (meq 100g/suelo)</b>							
0	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	-
4	0,86	0,39	0,43	0,58	0,37	0,54	0,28
8	0,58	0,71	0,43	0,56	0,57	0,52	0,29
12	0,63	0,72	0,80	0,60	0,92	0,74	0,44
16	0,52	1,07	1,02	0,73	0,97	0,61	0,59
20	0,84	1,03	1,17	0,80	0,64	0,52	0,76
24	0,94	1,18	1,61	1,15	0,94	0,72	0,73
28	1,10	1,48	1,67	1,47	2,10	1,06	0,96
32	0,74	1,09	0,85	0,46	0,52	1,00	0,59
36	0,82	1,20	1,23	1,19	0,57	0,91	1,07
40	0,57	0,75	1,08	0,99	0,44	0,78	0,84
44	0,69	1,06	0,70	0,40	0,98	0,67	0,59
48	0,55	0,70	0,45	0,41	0,27	0,50	0,64
52	0,43	0,31	0,40	0,45	0,39	0,38	0,39
56	0,52	0,65	0,76	0,71	0,85	0,63	0,64
<b>C orgánico total (%)</b>							
0	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	-
4	1,88	1,32	1,48	1,56	1,58	1,89	0,99
8	2,03	2,60	1,99	1,69	2,26	2,16	0,78
12	1,54	1,93	2,16	1,47	2,22	1,65	1,38
16	1,18	2,07	1,98	1,73	2,00	1,46	1,18
20	1,93	1,82	2,34	1,88	1,64	1,68	1,02
24	2,21	2,18	2,80	2,54	1,47	2,04	1,48
28	2,09	2,14	2,29	1,75	2,82	2,20	1,00
32	2,59	2,59	2,64	2,18	2,15	2,71	1,25
36	2,63	3,76	2,68	2,97	1,87	1,97	2,02
40	1,86	2,24	2,29	2,25	1,56	1,71	1,20
44	1,80	1,82	2,01	1,61	2,11	1,76	0,98
48	2,53	2,34	2,11	2,02	2,34	2,36	1,75
52	2,58	2,16	2,10	2,07	1,81	2,16	1,44
56	2,04	1,97	1,78	2,18	1,7	1,81	0,71