



CONTENIDO

	Pág.
Manejo de la nutrición y fertilización de la palma aceitera	1
Micronutrientes en la fisiología de las plantas: Funciones, absorción y movilidad (Segunda Parte)	9
Eurípedes Malavolta, 1926 - 2008 In Memoriam	14
Reporte de Investigación Reciente	14
- Acumulación y susceptibilidad de las fosfatasas del fósforo orgánico en suelos fertilizados bajo pasturas	
- Predicción y análisis de la fertilización con potasio por sitio específico para maíz en suelos tropicales. Ejemplo de Tailandia	
Cursos y Simposios	15
Publicaciones Disponibles	16

Editor: Dr. José Espinosa

Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre y cuando no se altere el contenido y se citen la fuente y el autor.



MANEJO DE LA NUTRICION Y FERTILIZACION DE LA PALMA ACEITERA

C.R. Donough¹

Introducción

La palma aceitera es el cultivo que produce la cantidad más alta de aceite vegetal en el mundo (**Tabla 1**), con un rendimiento potencial que excede las 18 t ha⁻¹. En plantaciones de Malasia, a escala comercial (2 000 ha), se han reportado rendimientos promedio anuales de aceite que exceden las 8 t ha⁻¹, derivadas de un rendimiento de 38 t ha⁻¹ de racimos de fruta fresca (RFF) (IOI, 2006). Se han registrado rendimientos aún más altos en unidades de manejo más pequeñas y en lotes de investigación.

La palma aceitera tiene una alta demanda de nutrientes debido al rápido crecimiento anual, especialmente en los primeros años de su ciclo total de crecimiento (25 años), y a los altos rendimientos anuales obtenibles después que se inicia la producción en el tercero o cuarto año luego de la siembra en el campo (**Tabla 2, Figura 1**).

El nitrógeno (N) y potasio (K) son los nutrientes más requeridos, mientras que los requerimientos de magnesio (Mg) y fósforo (P) son menores (**Figura 1**). Estos nutrientes son removidos del campo en los RFF cosechados e inmovilizados en las palmas en el ciclo de crecimiento (25 años).

Necesidad de fertilizantes

Cuando las plantaciones de palma aceitera empezaron en la costa del Norte de Sumatra y en Malasia, las palmas se cultivaron en suelos fértiles, pero al momento, más del 95% de las palmas en el Sureste Asiático se cultivan en áreas de suelos ácidos y con bajos niveles de fertilidad (Mutert, 2001). Por lo tanto, es necesario utilizar fertilizantes para satisfacer la demanda de nutrientes y soportar altos rendimientos.

Se ha demostrado consistentemente la respuesta a la aplicación de fertilizantes en numerosos experimentos en Malasia, donde se lograron altos rendimientos de RFF en un amplio rango de tipos de suelo (**Tabla 3**) (Kee y Goh, 2006).

¹ Consultor del International Plant Nutrition Institute, Southeast Asia Program, 126 Watten Estate Road, Singapore 287599. chrisrd@pd.jaring.my

Tabla 1. Rendimiento promedio de varias oleaginosas (Fairhurst y Mutert, 1999a; Kee y Goh, 2006).

Cultivo	Rendimiento de aceite
	t ha ⁻¹
Palma aceitera	3.62 - 4.0
Coco	0.39 - 1.5
Colza	0.52 - 1.3
Maní	0.35 - 1.0
Girasol	0.55 - 0.7
Soya	0.33 - 0.5

Tabla 2. Demanda anual de nutrientes para altos rendimientos de la palma aceitera (Adaptado de Kee y Goh, 2006).

Demanda de nutrientes*			
N	P	K	Mg
kg ha ⁻¹			
114 - 193	12 - 27	149 - 279	22 - 61

* Nutrientes removidos en los RFF e inmovilizados en las palmas.

Economía del uso de los fertilizantes

En el año 2006, en Sabah, donde se cultiva el 30% de la palma aceitera de Malasia, los fertilizantes constituían alrededor del 29% del costo variable de la producción de RFF, segundo en costo después de la mano de obra (Tabla 4). Cuando las operaciones de campo son más mecanizadas y el costo de mano de obra es menor, los fertilizantes representan el 40-45% del costo total.

Con la rápida escalada de los precios de fertilizantes que se inició en el año 2007, la proporción del total de los costos variables atribuida a los fertilizantes es ahora más alta. La rentabilidad del uso de fertilizantes depende de la respuesta en rendimiento y del valor neto

Tabla 3. Respuesta en racimos de fruta fresca (RFF) (t ha⁻¹) encontrados en los experimentos de fertilización en Malasia (Adaptado de Tarmizi et al., 1992).

Tipo de suelo ^a	Nº de exp.	Parcelas testigo ^b	Parcelas de máximo rendimiento ^c	Respuesta en rendimiento ^d
Inceptisoles	11	18.3 - 34.0	23.7 - 36.1	+ 1.1 - + 9.3
Ultisoles	10	8.6 - 28.1	25.5 - 36.8	+ 4.9 - + 23.8
Oxisoles	5	11.6 - 25.9	27.9 - 34.6	+ 2.0 - + 23.0

^a Clasificación del USDA.

^b Rango de rendimientos observados en las parcelas testigo sin fertilización.

^c Rango de rendimientos observados en las parcelas de máximo rendimiento con fertilización.

^d Rango observado de la respuesta en rendimiento.

Tabla 4. Costos variables de la producción de RFF en Malasia en el 2006^a.

Insumos de costo variable ^b	Costo total
	%
Mano de obra	41.2
Fertilizantes ^c	28.8
Infraestructura y equipos ^d	10.4
Reparación y mantenimiento de equipos ^e	8.3
Transporte ^f	5.3
Gasolina	5.3
Herbicidas	0.7
Total	100.0

^a Típica plantación de palma aceitera de 2 400 ha completamente madura en Sabah, Malasia.

^b Costos Abril 2006 - Marzo 2007.

^c Fertilizantes N, P, K, Mg y B.

^d Reparación de caminos y puentes.

^e Costo de maquinaria excluyendo la mano de obra y combustible.

^f Transporte de los RFF a la extractora.

del producto, en relación al costo extra de los fertilizantes. Mutert (2001), usando datos de seis experimentos de fertilización a largo plazo conducido en la Estación de Investigación Bah Lias, Sumatra y los precios de los fertilizantes y los RFF en 1999, demostró que el uso óptimo de fertilizantes en Sumatra es altamente rentable, con retornos de 194-829% (Tabla 5).

Al momento, los precios de fertilizantes se han incrementado entre 150-250% en comparación con los precios de 1999. Basándose en los mismos datos de la Tabla 5, el costo de las dosis óptimas de fertilizantes es ahora 171-200% más alto, sin embargo, los precios de los RFF se han triplicado en el mismo tiempo y el uso de fertilizantes es ahora más rentable (Tabla 6), si no existe otros cambios en el costo de la estructura de la producción.

Sin embargo, los productores de palma aceitera no pueden dictar el precio de su cultivo y por esta razón, el estricto control de los costos de producción y mantenimiento de altos rendimientos continúa siendo la mejor estrategia para sostener a largo plazo la rentabilidad para la empresa.

Para lograr esto, los productores deben continuar con un juicioso manejo de nutrientes e implementar prácticas de fertilización diseñadas para el sitio donde se está produciendo, buscando maximizar la eficiencia de la utilización de dosis suficientes de nutrientes. Esto permite

sostener un crecimiento saludable de las palmas y el máximo rendimiento económico (mayor rentabilidad) a largo plazo.

Objetivos y estrategias del manejo de nutrientes

Los objetivos del manejo de nutrientes en la producción de palma aceitera son:

- Asegurarse que las palmas sean abastecidas adecuadamente con una nutrición balanceada que soporte un sano crecimiento vegetativo y el máximo rendimiento económico.
- Lograr una alta eficiencia (máxima absorción y mínima pérdida) de los nutrientes aplicados para mantener la salud y fertilidad del suelo, evitar la contaminación ambiental por aplicación excesiva de nutrientes y no desperdiciar la inversión en fertilizantes costosos.

Para lograr estos objetivos, se debe seguir los siguientes pasos básicos:

- Estimar los requerimientos de nutrientes.
- Elegir las fuentes de nutrientes disponibles y apropiadas.
- Determinar las prácticas de campo más apropiadas para el manejo de nutrientes.

Estas estrategias deben ser de sitio específico y deben desarrollarse para la unidad de manejo más pequeña en la plantación, por ejemplo, un bloque de palma de la plantación que tiene su propio juego de condiciones en la palma y en el suelo.

Estimación de los requerimientos nutricionales

El método más directo para estimar los requerimientos es el balance de nutrientes que estima la demanda y el suplemento de nutrientes para la palma. Los componentes de la demanda y suplemento de nutrientes se presentan en la **Tabla 7**.

En el agro-ecosistema de la palma aceitera, los nutrientes se remueven del campo en los RFF cosechados y se fijan o incorporan a las partes vegetativas de la palma (hojas, troncos y raíces). Los nutrientes pueden también perderse del sistema por escorrentía superficial, lixiviación y erosión.

Por otro lado, los nutrientes regresan al sistema cuando se reciclan en el campo las hojas podadas y las inflorescencias masculinas viejas, además de los racimos vacíos (RV) y los efluentes de la extractora (EE), si éstos son reciclados en la plantación. En el suplemento de nutrientes también se deben tener en cuenta el aporte del suelo y de la lluvia. También pueden contribuir las leguminosas de cobertura (LC). Se necesitarán nutrientes en forma de fertilizantes cuando existe un déficit de suplemento frente a la demanda.

Información completa de la demanda de nutrientes para el crecimiento y el rendimiento de la palma aceitera es todavía escasa y los trabajos clásicos del Dr. Ng Siew-Kee y sus colaboradores (Ng y Thamboo, 1967; Ng et al., 1968) siguen siendo una fuente valiosa de información.

La demanda de nutrientes es pequeña en los primeros años ya que las palmas jóvenes tardan en recuperarse del shock del

Tabla 5. Rentabilidad del uso de fertilizantes en Sumatra en 1999 (Adaptado de Mutert, 2001).

Exp.	Costo del fertilizante ^a	Rendimiento extra ^b	Ganancia ^c	Retorno
	US\$ ha ⁻¹	t ha ⁻¹	US\$ ha ⁻¹	%
1	257	+ 8.3	498	194
2	285	+ 11.0	660	232
3	111	+ 5.2	312	281
4	175	+ 17.6	1 056	603
5	118	+ 16.3	978	829
6	161	+ 8.3	498	309

^a Costo anual de los fertilizantes basado en el tratamiento óptimo de fertilización con precios de 1999.

^b Diferencias anuales de los rendimientos de RFF entre los tratamientos óptimos y los testigos sin fertilizantes.

^c Ganancias anuales basadas en los precios de 1999 de US\$ 0.06 kg⁻¹ RFF (US\$ 1= 8 500 Rupias de Indonesia).

Tabla 6. Rentabilidad del uso de fertilizantes en Sumatra en el 2008 usando los mismos datos de la Tabla 5.

Exp.	---- Costo del fertilizante ^a ----			Ganancia ^c	Retorno
	1999	2008	Dif. ^b		
	---- US\$ ha ⁻¹ ----		%	US\$ ha ⁻¹	%
1	257	462	+ 180	1 494	323
2	285	498	+ 175	1 980	397
3	111	218	+ 196	936	430
4	175	349	+ 200	3 168	908
5	118	211	+ 179	2 934	1 392
6	161	274	+ 171	1 494	545

^a Costo anual de fertilizantes basado en tratamiento óptimo de fertilización.

^b Porcentaje de la diferencia en costo de los fertilizantes entre los años 2008 y 1999.

^c Ganancias anuales basadas en la estimación de los precios de RFF en el 2008 de US\$ 0.18 kg⁻¹ RFF (US\$ 1= 9 000 Rupias de Indonesia).

Tabla 7. Componentes de la demanda y suplemento en el modelo de balance de nutrientes en palma aceitera (Adaptado de Ng, 1977).

Componentes de la demanda	Componentes del suplemento
Nutrientes inmovilizados en las palmas	Nutrientes reciclados
Nutrientes removidos en los RFF	Contribución de lluvia
Nutrientes perdidos del sistema	Suplemento del suelo

Tabla 8. Balance de nutrientes y fertilizantes necesarios para 30 t ha⁻¹ de rendimiento anual de RFF (Adaptado de Ng et al., 1999).

Componentes del balance de nutrientes	Nutrientes			
	N	P	K	Mg
	----- kg ha ⁻¹ -----			
Demanda				
Almacenamiento en el tronco	42.4	4.1	121.6	10.2
Remoción en los RFF	99.1	15.6	129.6	33.3
Pérdidas por escorrentía, lixiviación, erosión	21.0	1.9	27.9	5.7
Demanda total	162.5	21.6	279.2	49.1
Suplemento				
RV retornado al campo	17.2	2.1	62.6	2.8
EE retornado al campo	6.6	1.4	31.3	5.8
Contribución de la lluvia	17.0	2.4	31.6	4.8
Suplemento total	40.8	5.9	125.3	13.4
Diferencia	-121.7	-15.7	-154.0	-35.8

transplante y en desarrollar su sistema radicular. Luego viene una etapa caracterizada por un rápido incremento de la absorción de K y N (Mg y P con menos intensidad) que dura pocos años hasta que la demanda se estabiliza (Figura 1).

Los trabajos pioneros de Ng y sus colaboradores se realizaron con la vieja generación de los materiales Dura (D) sembrados antes de 1960 en suelos aluviales con rendimientos picos de alrededor de 25 t ha⁻¹ de RFF. Desde entonces se han realizado estudios con materiales Tenera (T) de nuevas generaciones con un potencial de rendimiento más alto en suelos aluviales y otros tipos de suelos (Teoh y Chew, 1987a; Chew et al., 1992; Tarmizi et al, 1992; Tarmizi y Tayeb, 2006). Estos reportes muestran que los nuevos materiales de siembra T tienen una productividad más alta y consecuentemente necesitan más nutrientes, especialmente N y K. Estos reportes han sido usados para estimar el requerimiento de nutrientes para reemplazar aquellos que se han removido del sistema con la cosechada y los que se han inmovilizado en los tejidos de la palma.

Un ejemplo del cálculo de balance de nutrientes adaptado de Ng et al. (1999) se presenta en la **Tabla 8**. En este cálculo, la meta de rendimiento es de 30 t ha⁻¹ de RFF. Se asume que las palmas están completamente maduras y estables, que el tamaño de la parte aérea de la palma permanece constante y que las necesidades de nutrientes para el crecimiento de la parte aérea son satisfechas totalmente con los nutrientes reciclados de las hojas podadas. Se asume además, que el sistema radicular está completamente desarrollado. En estas condiciones, queda como única demanda los nutrientes necesarios para el crecimiento del tronco. En este ejemplo de cálculo, el suelo es de la serie Munchong, típico suelo del interior de Malasia con poca fertilidad. No se toma en cuenta el contenido de nutrientes en el suelo, se reciclan los RV y los EE, pero el cake de la extractora no se regresa al campo.

Este método es simple y robusto y provee una base lógica y cuantitativa para una primera aproximación de los requerimientos de nutrientes.

Sin embargo, la información anterior debe complementarse con la información existente de otros experimentos de fertilización, análisis foliares e información de otros factores inherentes al sitio. Toda esta información es necesaria para estimar la

eficiencia de recuperación de nutrientes. Es importante contar con el conocimiento, habilidad y experiencia de un ingeniero agrónomo para interpretar correctamente los datos y diseñar la recomendación final de fertilizantes.

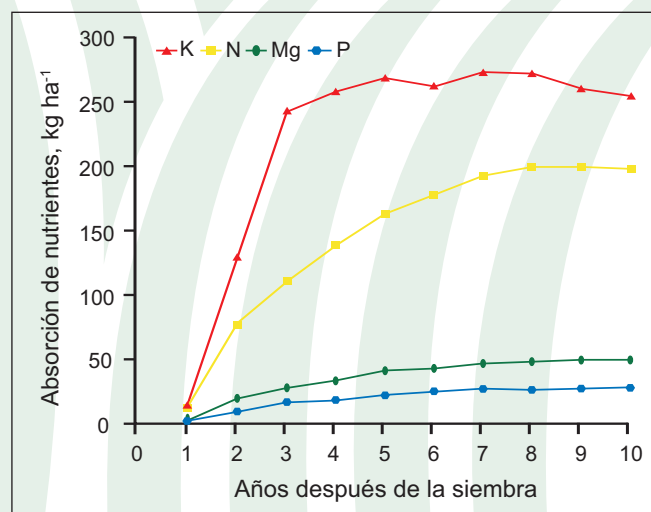


Figura 1. Absorción de nutrientes (kg ha⁻¹) en palma aceitera (Ng, 1977).

Información suplementaria para decidir las dosis finales de nutrientes

Análisis foliar

Las concentraciones óptimas de los nutrientes pueden variar considerablemente en el tejido foliar dependiendo de varios factores como edad de la palma, número de la hoja, lluvia, propiedades del suelo, materiales de siembra, espacio y competencia entre palmas y la relación con otros nutrientes (Fairhurst y Mutert, 1999b).

Por esta razón, es aconsejable referirse a los “rangos” de concentración foliar de nutrientes asociados con un estado nutricional (deficiente, óptimo y excesivo), en lugar de un solo valor crítico (Tabla 9).

Los requerimientos nutricionales calculados anteriormente con el balance de nutrientes pueden ajustarse de acuerdo a los datos del análisis foliar.

Foster (2003) encontró una estrecha correlación entre los niveles óptimos de N, K y Mg y la cantidad total de cationes (K, Mg y Ca) en las hojas (CTCH). La CTCH se calcula de la siguiente manera:

$$CTCH \text{ (cmol kg}^{-1}\text{)} = [(K \text{ foliar}/39.1)+(Mg \text{ foliar}/12.14) + (Ca \text{ foliar}/20.04)] \times 1000$$

Se encontró que la mayor parte de la variación en los niveles óptimos de concentraciones foliares es causado por factores ambientales y la edad de la palma y que estos factores producían el mismo efecto en la CTCH, haciendo posible el uso de solo datos foliares de N, K y Mg para ajustar la recomendación.

Los niveles críticos foliares de N y P se relacionan con la siguiente ecuación (Tampubolon et al., 1990):

$$\text{Nivel crítico foliar de P} = 0.0487 \times (\text{N foliar}) + 0.039$$

Se pueden presentar fluctuaciones significativas en las concentraciones de nutrientes en las hojas dentro de un año causadas por la disponibilidad de la humedad en el suelo (Foster, 2003) (Tabla 10). Esta condición debe tomarse en consideración al momento de interpretar los datos ya que no es práctico, y generalmente no es posible, que el muestreo anual se conduzca exactamente al mismo tiempo, bajo el mismo clima y condiciones de campo.

Para reducir el error en la determinación de las dosis de fertilización, Foster (2003) recomienda tomar muestras foliares cada dos meses en bloques de monitoreo establecidos en cada plantación. Las muestras foliares de los otros bloques pueden tomarse en la época establecida de muestreo y los datos se pueden luego corregir por las fluctuaciones usando los datos del bloque de monitoreo.

Los datos del análisis foliar se pueden corroborar con observaciones de campo que determinen la presencia de síntomas de deficiencia. Witt et al. (2005) demostró que la calificación visual de los síntomas de deficiencias de Mg en el campo se correlacionan estrechamente con los niveles foliares de Mg, haciendo más confiable la respuesta a la fertilización con Mg. La calificación de los síntomas de deficiencia se realiza al momento del muestreo foliar (Fairhurst et al., 2005). La observación de síntomas es también muy útil para nutrientes cuyas deficiencias se presentan en las hojas jóvenes y no necesariamente en la hoja 17, por ejemplo el boro.

Si bien la concentración foliar de nutrientes es generalmente el parámetro aceptado, en el caso de K, la concentración en el raquis es un mejor indicador del contenido de K en la palma. Se ha demostrado que este parámetro tiene una muy estrecha correlación con el

Tabla 9. Niveles de nutrientes en la hoja 17 asociados con un estado nutricional (deficiente, óptimo y excesivo) en palma aceitera (Adaptado de Fairhurst y Mutert, 1999b).

Nutriente	----- Rangos de nutrientes en la hoja 17 -----		
	Deficiente	Optimo	Excesivo
-----% de materia seca -----			
Palmas < 6 años después de la siembra			
N	< 2.50	2.60 - 2.90	> 3.10
P	< 0.15	0.16 - 0.19	> 0.25
K	< 1.00	1.10 - 1.30	> 1.80
Mg	< 0.20	0.30 - 0.45	> 0.70
Palmas > 6 años después de la siembra			
N	< 2.30	2.40 - 2.80	> 3.00
P	< 0.14	0.15 - 0.18	> 0.25
K	< 0.75	0.90 - 1.20	1.60
Mg	< 0.20	0.25 - 0.40	0.70

Tabla 10. Fluctuaciones anuales en los niveles foliares de nutrientes en hojas de palma aceitera en Sumatra (Foster, 2003).

Nutriente	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.	Prom.
----- % de materia seca -----							
N	2.52	2.40	2.48	2.56	2.60	2.52	2.52
P	0.159	0.157	0.160	0.157	0.166	0.165	0.161
K	0.86	0.89	0.86	0.90	0.94	0.90	0.89
Humedad del suelo (%)	< 10	0	50	40	> 90	> 90	

Tabla 11. Clasificación del contenido de K en el raquis (Goh y Hardter, 2003).

Estado	K en el raquis
	%
Alto	> 1.60
Adecuado	1.31 - 1.60
Marginal	1.01 - 1.31
Bajo	< 1.01

rendimiento (Teoh y Chew, 1987b) y también con K disponible en el suelo (Foster y Prabowo, 1996). La clasificación del contenido de K en el raquis propuesta por Teoh y Chew (1987b) y modificada por Goh y Hardter (2003) se presenta en la **Tabla 11**.

Análisis de suelo

El análisis periódico del suelo es útil para monitorear la salud del suelo a largo plazo, para determinar si se está agotando o mejorando la fertilidad del suelo por efecto de las prácticas agrícolas implementadas y los nutrientes aplicados (Chew, 2007; Tinker, 2003). Algunos parámetros del análisis del suelo también tienen un impacto significativo en las respuestas en rendimiento a la aplicación de fertilizantes (**Tabla 12**). Sin embargo, en general, los datos del análisis del suelo no son tan útiles como los datos del análisis foliar como guía para determinar las necesidades de nutrientes en la palma aceitera por las razones que se describen a continuación (Goh, 1997):

- Falta de estandarización de los métodos de análisis de suelo y diferencias en la metodología de toma de muestras en el campo.
- Alta variabilidad inclusive en las mismas series del suelo.
- Falta de datos para evaluar las variaciones a través del año.
- Falta de datos del suelo en la mayoría de los experimentos con fertilizantes.

Sin embargo, los datos de mapeo de suelo son una parte esencial de la caracterización del sitio (Paramanathan, 2003) para determinar si el sitio es apropiado para el cultivo y para estimar el potencial de rendimiento.

Datos de experimentos y observaciones de campo

Se han observado grandes diferencias en la respuesta en rendimiento a la aplicación de fertilizantes, inclusive en el mismo tipo de suelo (**Tabla 12**), como resultado de factores específicos del sitio como la edad de la palma, lluvia, topografía y características del suelo. Esto demuestra que se deben considerar varios factores para decidir las dosis de fertilizantes a aplicarse en un sitio en particular.

La eficiencia de absorción de nutrientes en palma aceitera reportada en Malasia fue algo menor, especialmente para K, que la reportada para otros cultivos (Chew et al., 1999) (**Tabla 13**). En Sumatra, Indonesia, se encontraron valores similares para N y K, así como también para P y Mg (Prabowo et al., 2002). Esta

Tabla 12. Variación del rendimiento de RFF en respuesta a la aplicación de fertilizantes en cinco experimentos en las series de suelos Rengam en Malasia (Adaptado de Foster, 2003).

	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5
Lotes de rendimiento óptimo					
Rendimiento de RFF (t ha ⁻¹)	28.7	29.1	27.1	29.1	28.8
Respuesta a N (t ha ⁻¹)	+ 4.9	+ 5.9	+ 0.5	+ 4.0	+ 2.5
Respuesta a K (t ha ⁻¹)	+ 8.9	+ 8.0	+ 0.7	+ 2.7	+ 5.2
Rendimiento limitado por	-	-	Pendiente	-	-
Mejor rendimiento debido a	-	Zona plana	-	Zona plana	-
Factores que limitan el rendimiento en parcelas testigo (mayor respuesta en rendimiento)					
Parcelas sin N	Edad de la palma	Más lluvia	-	-	-
Parcelas sin K	Baja MOS ^a	Baja MOS ^a	-	-	-
Factores que mejoran el rendimiento en parcelas testigo (menor respuesta en rendimiento)					
Parcelas sin N	-	-	Menos lluvia	-	Menos lluvia
Parcelas sin K	-	-	Alta MOS, K ^b alto en el suelo	Alta MOS, Bajo CIC ^c	-
^a Materia orgánica del suelo. ^b K extraído con HCl caliente. ^c Capacidad de intercambio catiónico.					

Tabla 13. Eficiencia de absorción del N y K en palma aceitera comparado con otros cultivos (Adaptado de Chew et al., 1999).

Nutriente	Palma aceitera madura		----- Otros cultivos -----	
	Promedio	Rango	Promedio	Rango
----- % -----				
N	45	22 - 72	60	25 - 70
K	58	42 - 83	80 - 85	50 - 100

Tabla 14. Efecto de N y K en el rendimiento y crecimiento de palma aceitera (Chan, 1982).

	Niveles de N	----- Niveles de K -----		
		K0	K1	K2
----- kg palma ⁻¹ -----				
Rendimiento de RFF	N0	72	65	66
	N1	68	95	96
	N2	79	96	99
Biomasa (materia seca)	N0	89	84	89
	N1	97	117	119
	N2	106	120	123

información indica que es necesario delinear medidas que mejoren la eficiencia de uso de los nutrientes en palma aceitera (Fairhurst, 1999).

Los experimentos de campo proveen de información útil sobre la pérdida de nutrientes del sistema. El entendimiento de los mecanismos de pérdida es esencial si se desea mejorar la eficiencia de uso de los fertilizantes. Los nutrientes pueden perderse o pasar a no ser disponibles por las siguientes razones:

- Escorrentía superficial (Maene et al., 1979; Kee y Chew, 1996).
- Lixiviación (Foong, 1993).
- Fijación (Tessens y Shamsuddin, 1983; Zaharah, 1979).
- Volatilización (Chan y Chew, 1984).
- Inmovilización en la cobertura (Han y Chew, 1981; Teo et al., 1990).

Las interacciones de nutrientes más importantes en palma aceitera son N:P, N:K y K:B (Goh y Hårdter, 2003). Las dos primeras son sinérgicas y las otras son antagonicas.

Los contenidos de los diferentes nutrientes deben estar en equilibrio debido a que una completa respuesta a un nutriente en particular sucede solamente cuando los contenidos de otros nutrientes no se encuentren a niveles limitantes. Por ejemplo, el N incrementa la producción de biomasa en ausencia de K, pero con

presencia de K la acumulación de materia seca es mucho mayor, como se observa en los datos presentados en la **Tabla 14**.

Se necesita de N y K para obtener altos rendimientos (**Tabla 14**); no existe respuesta de rendimiento a N o K aplicado en la ausencia de los otros nutrientes (Chan, 1982).

También se han reportado interacciones positivas entre el K y las prácticas culturales como la aplicación de mulch de RV, colocación de las hojas podadas en el campo y frecuencia de la aplicación del K (Chan et al., 1993), incrementando los rendimientos en 4-14%. Por otro lado, se ha demostrado que altas dosis de K inhiben la absorción de Mg y B y pueden reducir el rendimiento.

Los resultados de experimentos de campo, como los presentados anteriormente, y las observaciones realizadas durante las visitas del campo, provee de información que sirve de guía para tomar decisiones con respecto a dosis, fuentes de nutrientes, así como métodos y calendario de aplicación.

Bibliografía

Chan, K.S. and P.S. Chew. 1984. Volatilization losses of urea on various soils under oil palm. In: Proceedings of Seminar on Fertilizers in Malaysian Agriculture (Chew et al, eds.), Malaysian Society of Soil Science and Universiti Pertanian Malaysia, Kuala Lumpur, 91-103.

Chan, K.W. 1982. Potassium requirements of oil palm in Malaysia: Fifty years of experimental results. In: Phosphorus and Potassium in the Tropics (Pushparajah & Sharifuddin, eds.), Malaysian Society of Soil Science, Kuala Lumpur, 323-348.

Chan, K.W., K.C. Lim, and A. Ahmad. 1993. Fertilizer efficiency studies in oil palm. In: Proceedings of 1991 PORIM International Palm Oil Conference, Module I – Agriculture (Yusof et al, eds.), PORIM, Kuala Lumpur, 302-311.

Chew, P.S. 2007. Soil resources and plantation agriculture in Malaysia. In: Proceedings of Soils 2007: Peat and other Soil Factors in Crop Production (Hamdan et al, eds.), Malaysian Society of Soil Science, Kuala Lumpur, 1-41.

Chew, P.S., K.K. Kee, and K.J. Goh. 1999. Chapter 4: Cultural practices and their impact. In: Oil Palm and the Environment: A Malaysian Perspective (Gurmit et al, eds.), Malaysian Oil Palm Growers Council, Kuala Lumpur, 55-81.

Chew, P.S., K.K. Kee, K.J. Goh, Y.T. Quah, and S.H. Tey. 1992. Fertilizer management in oil palms. In: Fertilizer Usage in the Tropics (Aziz et al, eds.), Malaysian Society of Soil Science, Kuala Lumpur, 43-64.

Fairhurst, T. 1999. Nutrient use efficiency in oil palm: Measurement and management. The Planter, Kuala Lumpur 75(877):177-183.

- Fairhurst, T., J-P. Caliman, R. Härdter, and C. Witt. 2005. Oil Palm: Nutrient Disorders and Nutrient Management. PPI /PPIC-IPI, CIRAD and Pacific Rim Palm Oil Limited, 67pp.
- Fairhurst, T. and E. Mutert. 1999a. Introduction to oil palm production. *Better Crops International* 13(1):3-6.
- Fairhurst, T. and E. Mutert. 1999b. Interpretation and management of oil palm leaf analysis data. *Better Crops International* 13(1):48-51.
- Foong, S.F. 1993. Potential evapotranspiration, potential yield and leaching losses of oil palm. In: *Proceedings of 1991. PORIM International Palm Oil Conference, Module I – Agriculture* (Yusof et al, eds.), PORIM, Kuala Lumpur, 105-119.
- Foster, H. 2003. Assessment of oil palm fertilizer requirements. In: *Oil palm: Management for Large and Sustainable Yields* (Fairhurst & Härdter, eds.), PPI/PPIC-IPI, Singapore, 231-257.
- Foster, H. and N. Prabowo. 1996. Variation in the potassium fertilizer requirements of oil palm in North Sumatra. In: *International Palm Oil Congress: Competitiveness for the 21st Century - Agriculture* (Ariffin et al, eds.), PORIM, Kuala Lumpur, 143-152.
- Goh, K.J. 1997. Interpretations of analytical data from soil survey reports for manuring recommendations: Some pointers. *Royal Johore Planters' Association Annual Report 1997*, 25-30.
- Goh, K.J. and R. Härdter. 2003. General oil palm nutrition. In: *Oil palm: Management for Large and Sustainable Yields* (Fairhurst & Härdter, eds.), PPI/PPIC-IPI, Singapore, 191-230.
- Han, K.J. and P.S. Chew. 1981. Growth and nutrient contents of leguminous covers in oil palm plantations in West Malaysia. In: *Oil palm in Agriculture in the Eighties Volume II* (Pushparajah & Chew, eds.), Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur, 235-252.
- IOI Corporation Berhad. 2006. Annual Report 2005, 30-31 (downloaded from www.ioigroup.com).
- Kee, K.K. and P.S. Chew. 1996. Nutrient losses through surface runoff and soil erosion: Implication for improved fertilizer efficiency. In: *International Palm Oil Congress: Competitiveness for the 21st Century - Agriculture* (Ariffin et al, eds.), PORIM, Kuala Lumpur, 153-167.
- Kee, K.K. and K.J. Goh. 2006. Efficient fertilizer management for higher productivity and sustainability in oil palm production. In: *Higher Productivity and Efficient Practices for Sustainable Plantation Agriculture (Vol.1)*, Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur, 157-182.
- Maene, L., K.C. Tong, T.S. Ong, and A.M. Mokhtaruddin. 1979. Surface wash under mature oil palm. In: *Proceedings of Symposium on Water in Malaysian Agriculture* (Pushparajah, ed.), Malaysian Society of Soil Science, Kuala Lumpur, 209-216.
- Mutert, E. 2001. Nutrient management for oil palm. In: *Strategic Directions for the Sustainability of the Oil Palm Industry* (E Pushparajah, ed.), Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur.
- Ng, P.H.C., P.S. Chew, K.J. Goh, and K.K. Kee, 1999. Nutrient requirements and sustainability in mature oil palms - an assessment. *The Planter*, Kuala Lumpur 75(880):331-345.
- Ng, S.K. 1977. Review of oil palm nutrition and manuring - scope for greater economy in fertilizer usage. In: *International Developments in Oil Palm* (Earp & Newall, eds.), Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur, Malaysia, 717-738.
- Ng, S.K. and S. Thamboo. 1967. Nutrient contents of oil palms in Malaysia. I. Nutrients required for reproduction: fruit bunch and male inflorescences. *Malay. Agric. J.* 46:3-45.
- Ng, S.K., S. Thamboo, and P. de Souza, 1968. Nutrient contents of oil palms in Malaysia. II. Nutrients in vegetative tissues. *Malay. Agric. J.* 46:332-391.
- Paramanathan, S. 2003. Land selection for oil palm. In: *Oil palm: Management for Large and Sustainable Yields* (Fairhurst & Härdter, eds.), PPI/PPIC-IPI, Singapore, 27-57.
- Prabowo, N.E., T. Lubis, T. Fairhurst, H. Foster, and E.N. Nafisah. 2002. Efficiency of fertilizer recovery by oil palm in Sumatra. In: *Proceedings of International Oil Palm Conference and Exhibition, Bali, Indonesia, IOPRI*, 9 p.
- Tampubolon, F.H., C. Daniel, and R. Ochs. 1990. Oil palm responses to nitrogen and phosphate fertilizer in Sumatra. *Oleagineux* 45:475-486.
- Tarmizi, A.M. and M.D. Tayeb. 2006. Nutrient demands of Tenera oil palm planted on inland soils of Malaysia. *Journal of Oil Palm Research* 18(1):204-209.
- Tarmizi, A.M., M.D. Tayeb, and Z.Z. Zin. 1992. Maximum yield of oil palm in Peninsular Malaysia: yield response and efficiency of nutrient recovery. In: *Yield Potential in Oil Palm* (Rao et al, eds.), International Society of Oil Palm Breeders and PORIM, Kuala Lumpur, 145-153.
- Teo, L., K.P. Ong, and R.J. MacLean. 1990. Responses of oil palm to eradication of *Ischaemum muticum*. In: *Proceedings of 1989 International Palm Oil Development Conference – Agriculture* (Jalani et al, eds.), PORIM, Kuala Lumpur, 301-307.
- Teoh, K.C. and P.S. Chew. 1987a. Potassium in the oil palm ecosystem and some implications to manuring practice. In: *Proceedings of 1987 International Oil Palm/Palm Oil Conference I - Agriculture* (H. Abdul Halim et al, eds.), PORIM and Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur, 277-286.
- Teoh, K.C. and P.S. Chew. 1987b. Use of rachis analysis as an indicator of K nutrient status in oil palm. In: *Proceedings of 1987 International Oil Palm/Palm Oil Conference I - Agriculture* (H. Abdul Halim et al, eds.), PORIM and Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur, 262-271.
- Tessens, E. and J. Shamsuddin. 1983. Quantitative relationship between mineralogy and properties of tropical soils. *Universiti Pertanian Malaysia, Serdang*, 180 pp.
- Tinker, P.B. 2003. Chapter 11: Mineral nutrition of oil palms. In: *The Oil Palm* (4th ed.) (Corley & Tinker, eds.), Blackwell Science, United Kingdom, 327-389.
- Witt, C., T. Fairhurst, and W. Griffiths. 2005. The need to increase profitability in oil palm plantations: Matching crop and nutrient management principles with evolving strategies. In: *Proceedings of National Seminar 2005, Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur*, 123-144.
- Zaharah, A.R. 1979. Phosphate adsorption by some Malaysian soils. *Pertanika* 2:78-83.
- Zin, Z.Z., S.F. Foong, N. Jamaludin, C.T. Lee, A.B. Hamdan, A.M. Tarmizi, and H. Khalid. 2001. Evaluation of various sources of phosphate fertilizer for mature oil palm in Peninsular Malaysia. In: *Proceedings of 2001 PIPOC International Palm Oil Congress – Agriculture Conference, MPOB, Kuala Lumpur*, 272-281. ❖