

Manejo de nutrición mineral en palma de aceite: Situación actual y perspectivas

Oil Palm Mineral Nutrition Management: Current Situation and Prospects

Jean P. Caliman¹

B. Dubos

B. Tailliez

P. Robin

X. Bonneau

I. de Barros

Resumen

El posible rendimiento de la palma de aceite sólo puede lograrse a través de una perfecta administración de su nutrición mineral. La palma de aceite es usualmente muy sensible a la aplicación de fertilizantes y, en consecuencia, la fertilización representa el único y mayor elemento de los costos de producción. No obstante, con base en las características específicas de cada circunstancia ecológica se requiere una gran selectividad para asegurar un óptimo equilibrio nutricional. El período de inmadurez que se inicia en el momento de la siembra constituye una fase clave para el futuro rendimiento de las palmas. Las aplicaciones de fertilizante tienen un fuerte impacto en el desarrollo vegetativo de las palmas y posteriormente en los niveles de precocidad y rendimiento en los primeros 2 ó 3 años de cosecha. La utilización de fertilizantes de acción retardada, aplicados en proporción y tiempo adecuados, en algunos casos resultan ser más eficientes si se les compara con los fertilizantes que se aplican directamente en estado puro y sin mezcla. En algunos suelos de tipo específico es necesaria la aplicación de micronutrientes, lo cual depende de sus características físicoquímicas. En las palmas ya maduras la necesidad de nutrientes se calcula mediante un manejo apropiado de las curvas de respuesta que el contenido de nutrientes del producto y de las hojas da a la aplicación de fertilizantes y que se obtienen gracias a los resultados de las pruebas hechas con el fertilizante. Además, también deben tomarse en cuenta los parámetros económicos para así maximizar la rentabilidad. El tipo de fertilizante que debe aplicarse depende del estado de las palmas y de las características del suelo. Selectividad es también una palabra clave para obtener el máximo de efectividad del nutriente aplicado. Tanto en situaciones de madurez como de inmadurez, el empleo racional de subproductos industriales constituye una interesante y conveniente solución ambiental para los residuos que puede, asimismo, mejorar la continuidad del sistema. En un futuro cercano se contará con nuevos avances en nuestro sistema de administración de una nutrición mineral gracias a las constantes investigaciones centradas principalmente en: La evaluación constante del impacto ambiental de las aplicaciones de fertilizantes mediante la creación de herramientas adecuadas; el establecimiento de un equilibrio nutricional en el agrosistema de la palma de aceite en diferentes escalas de tiempo y espacio; el análisis de la biodisponibilidad de nutrientes en el suelo y su efecto en la nutrición de la palma. Todos estos puntos proporcionarán a los agrónomos herramientas más completas para establecer recomendaciones acerca de los fertilizantes y encaminadas a un cultivo continuo de la palma de aceite.

Palabras Clave

Palma de aceite,
Nutrición mineral,
Fertilización,
Medio ambiente,
Suelos,
Material de siembra.

1 . CIRAD - Francia. E-mail: caliman@cirad.fr

Nota: Traducido por Fedepalma.

Summary

Oil palm yield potential can be achieved only by a perfect management of its mineral nutrition. Oil palm is usually very responsive to fertilizer applications and consequently manuring represents the largest, single component of production cost. However a high selectivity is required based on the specific characteristics of each ecological situation, in order to ensure an optimum nutrient balance. The immature period, starting from planting time, is a key phase for the future performance of the palms. Fertilizer applications have a strong impact on the vegetative development of the palms, and subsequently on the precocity and yield levels in the first 2-3 years of harvesting. The use of high quality slow release fertilizers, applied at an appropriate rate and time results in some cases in a better efficiency compared to straight fertilizers. In some specific soils micro-nutrients are necessary, depending on their physico-chemical characteristics. On mature palms, nutrient requirement is estimated through an appropriate use of the yield and leaf nutrient content response curves to fertilizer applications, drawn up thanks to the results obtained in the fertilizer field trials. Moreover, economical parameters have also to be taken into account in order to maximize profitability. The type of fertilizer to be applied depends on the status of the palms and soil characteristics. Selectivity is also a key word in order to maximize efficiency of the applied nutrient. In both mature and immature situations, the rational use of factory by-products is an interesting friendly environmental solution for the residues and can also improve the sustainability of the system. Further improvements in our mineral nutrition management system in the near future shall be provided by the on-going researches mainly concentrated on: The permanent evaluation of the environmental impact of fertilizer applications, through the setting up of appropriate tools. The establishment of nutrient balance in the oil palm agro-system, at different time and space scales. The analysis of the bio-availability of nutrients in the soil and its impact on palm nutrition. All these points will provide more comprehensive tools for agronomists in order to establish fertilizer recommendations towards a sustainable oil palm cultivation.

Sin importar el clima o tipo de suelo, la fertilización es esencial en el cultivo de palma para lograr el potencial de producción y crecimiento. También es necesaria para mantener y mejorar la fertilidad del suelo, que frecuentemente es un factor limitante en suelos tropicales.

Normalmente la palma de aceite responde bien a la aplicación de fertilizantes. Sin embargo, se han observado diferencias significativas en rendimiento entre áreas con climas y suelos diferentes, y también diferencias en requerimientos de nutrientes entre los estados maduros e inmaduros. La fertilización generalmente representa el componente más grande de los costos de producción. Comparado con los costos totales de producción y manejo, la fertilización sigue ocupando el primer puesto (Baskett *et al.*, 2002). Actualmente este rubro representa alrededor del 65% de los gastos para mantenimiento en el Sureste Asiático, mientras que, según Piggott (1968), en los años 60 representaba 54% en Malasia.

Hoy día existen métodos científicos para el manejo de nutrición mineral, que dan resultados altamente satisfactorios si se aplican correctamente. Estos enfoques de manejo generalmente se basan en la respuesta de las palmas para

determinar la dosis de fertilizante y el nivel de nutriente en las hojas requeridos para lograr el mejor rendimiento. Las plantaciones más productivas también buscan el mejor balance entre nivel de producción y factores económicos. Esto se puede lograr tomando en cuenta parámetros económicos (como el precio de los productos de palma y el costo de los fertilizantes aplicados) y sus tendencias, ya que entre la aplicación de fertilizantes y la respuesta de la palma de aceite pueden transcurrir hasta tres años.

Además de estos dos factores para manejo de fertilización, el impacto ambiental de las prácticas agrícolas se está convirtiendo en una preocupación importante para ambientalistas y consumidores, y se asume que, en adelante, este aspecto tendrá que tomarse en cuenta en la fertilización de palma de aceite.

Metodología para el manejo de la nutrición mineral: Método empírico

Refiriéndose al manejo de fertilizantes, Gros (1979) recalcó que no existe una "llave maestra" aceptable para todas las circunstancias ecológicas y económicas, y que cada situación debe ser considerada como un caso específico. En

otras palabras, los resultados obtenidos en un sitio pueden no ser aplicables en otro. De otro lado, se puede definir una metodología general muy completa que cubra la mayoría de las situaciones.

La metodología para el manejo de nutrición mineral en palma de aceite fue descrita por Ochs (1985). Es un método basado en una combinación de experimentación de campo y monitoreo del estado de nutrición mineral de las palmas a través de análisis foliar.

El primer paso consiste en definir una unidad de área agroecológicamente homogénea, por ejemplo con características similares de clima, suelo y material sembrado. El tamaño de la unidad puede ir desde cientos hasta miles de hectáreas. En cada unidad se debe ejecutar el sistema de apoyo de decisiones descrito en la Figura 1:

- Con base en los resultados de los ensayos de fertilización de campo, se pueden obtener curvas de respuesta a la dosis de fertilizante con relación a rendimiento (para palmas maduras), crecimiento vegetativo y contenido de nutrientes en las hojas. Teniendo en cuenta varios parámetros económicos se pueden calcular entonces el máximo rendimiento económico y el contenido óptimo de nutrientes foliares
- De acuerdo con el resultado del análisis foliar, se puede recomendar la dosis de fertilizante para cada bloque homogéneo de la plantación
- Con base en los objetivos trazados para la plantación, los agrónomos pueden entonces establecer el programa de fertilización para cada bloque
- El monitoreo de la fertilidad del suelo (análisis de suelo) es necesario para asegurar la sostenibilidad del cultivo.

Para alimentar el sistema de apoyo de decisiones que determinen la mejor estrategia que se debe adoptar, se requiere una extensa red de ensayos de fertilización que cubra varias situaciones ecológicas.

En la mayoría de los casos, la curva de respuesta de rendimiento obtenida en ensayos de fertilización se basa en el modelo Mitscherlich:

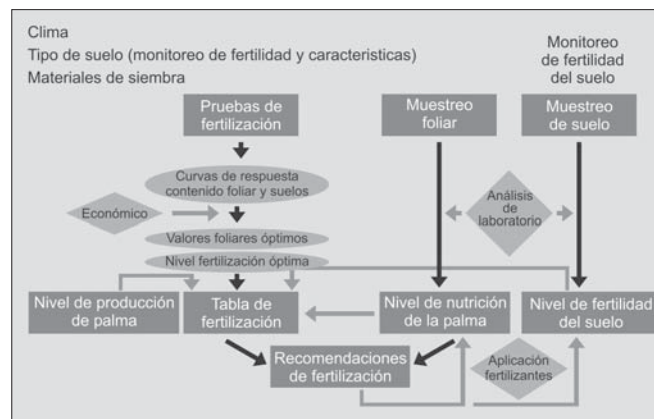


Figura 1 Manejo de nutrición mineral: Metodología

$$Y = a - b \text{ EXP } (-c X) \quad (1)$$

Donde:

Y= Rendimiento o crecimiento

X= Dosis de fertilizante X

a, b, c constantes con el siguiente significado:

a: Máximo potencial de las palmas, definido por todos los factores limitantes, excepto fertilizante X

b: Impacto máximo de fertilizante X

c: Relativo a la curvatura de la curva de respuesta

b* c: Pendiente en el origen = eficiencia inicial de fertilizante X.

Manejo de nutrición mineral durante el período inmaduro

El período inmaduro, que comprende desde la siembra hasta la primera cosecha, es una fase clave para el rendimiento futuro de las palmas. Sin embargo, poco aparece en la literatura sobre la importancia del desarrollo óptimo de las palmas jóvenes durante este período. Las escasas publicaciones al respecto resaltan el impacto de la fertilización en el comportamiento de las palmas en términos de producción (Ng, 1970; Ng, 1972; Hew *et al.*, 1973). Hartley (1988) reconoció que una fertilización inadecuada durante el período inmaduro puede afectar irremediamente el potencial de las palmas.

La ausencia de ingresos económicos durante el período inmaduro puede inducir a algunas compañías a reducir los costos de mantenimiento

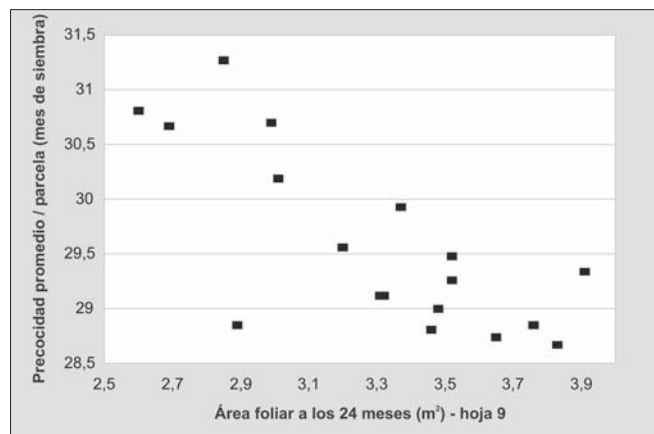
en las plantas jóvenes. Sin embargo, la considerable susceptibilidad de las palmas jóvenes a deficiencias en mantenimiento es un hecho reconocido. Por ejemplo, si se cancela un ciclo de fertilización, se retarda el crecimiento y rápidamente aparece el amarillamiento. Esta susceptibilidad es contrarrestada por la robustez de la palma, que sobrevivirá aun en condiciones altamente desfavorables y en muchos casos terminará dando algo de producción.

Recientemente, Caliman y colaboradores (2002) recalcaron la importancia de un manejo óptimo de fertilización durante el período inmaduro. Con base en varios ensayos en Asia y África, y en observaciones en plantaciones comerciales, estos autores establecieron relaciones muy estrechas entre la precocidad de las palmas jóvenes o los niveles de rendimiento registrados durante los primeros 2 a 3 años de cosecha, y su desarrollo vegetativo durante el período inmaduro. En la mayoría de las situaciones ecológicas sólo con un manejo adecuado de fertilización se puede asegurar el desarrollo vegetativo óptimo de las palmas jóvenes.

En el Sureste Asiático, la de nitrógeno es la aplicación de fertilizante más comúnmente requerida durante el período inmaduro, seguida por fosfato y en menor grado por potasio y magnesio. Sin embargo, se observa un alto grado de especificidad, basado en las características de cada suelo y en la necesidad de un óptimo balance de nutrientes.

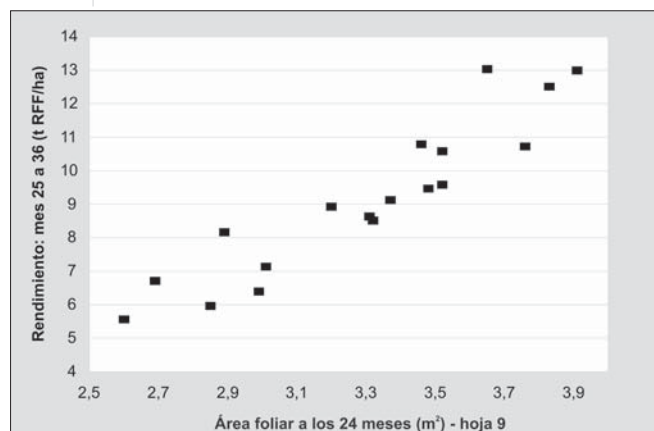
En un experimento desarrollado en Sumatra (Indonesia), el tiempo de maduración y el rendimiento durante el primer año de cosecha tienen una relación lineal con el crecimiento vegetativo de la palma durante el período inmaduro (Fig. 2 y 3). La fertilización de nitrógeno de las palmas parece ser el factor más importante en el control del crecimiento vegetativo (Fig. 4).

En un segundo experimento, se observó una respuesta positiva a la fertilización con fósforo, nitrógeno y en menor grado potasio, con relación al crecimiento vegetativo, mientras que las aplicaciones de magnesio no presentaron ningún impacto (Fig. 5a, 5b, 5c y 5d). La mejora en crecimiento vegetativo con fertilizantes N, P y K es una consecuencia de aumentos significativos de nutrientes N, P y K en las palmas (Figuras 6a,



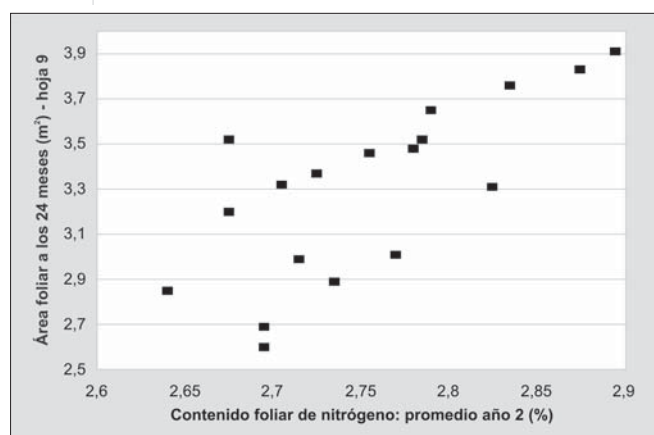
Fuente: Caliman et al. (2002)

Figura 2 Precocidad de las palmas - Impacto del crecimiento durante el período inmaduro



Fuente: Caliman et al. (2002)

Figura 3 Rendimiento de las palmas - Impacto del crecimiento



Fuente: Caliman et al. (2002)

Figura 4 Crecimiento de las palmas - Impacto de nutrición de nitrógeno

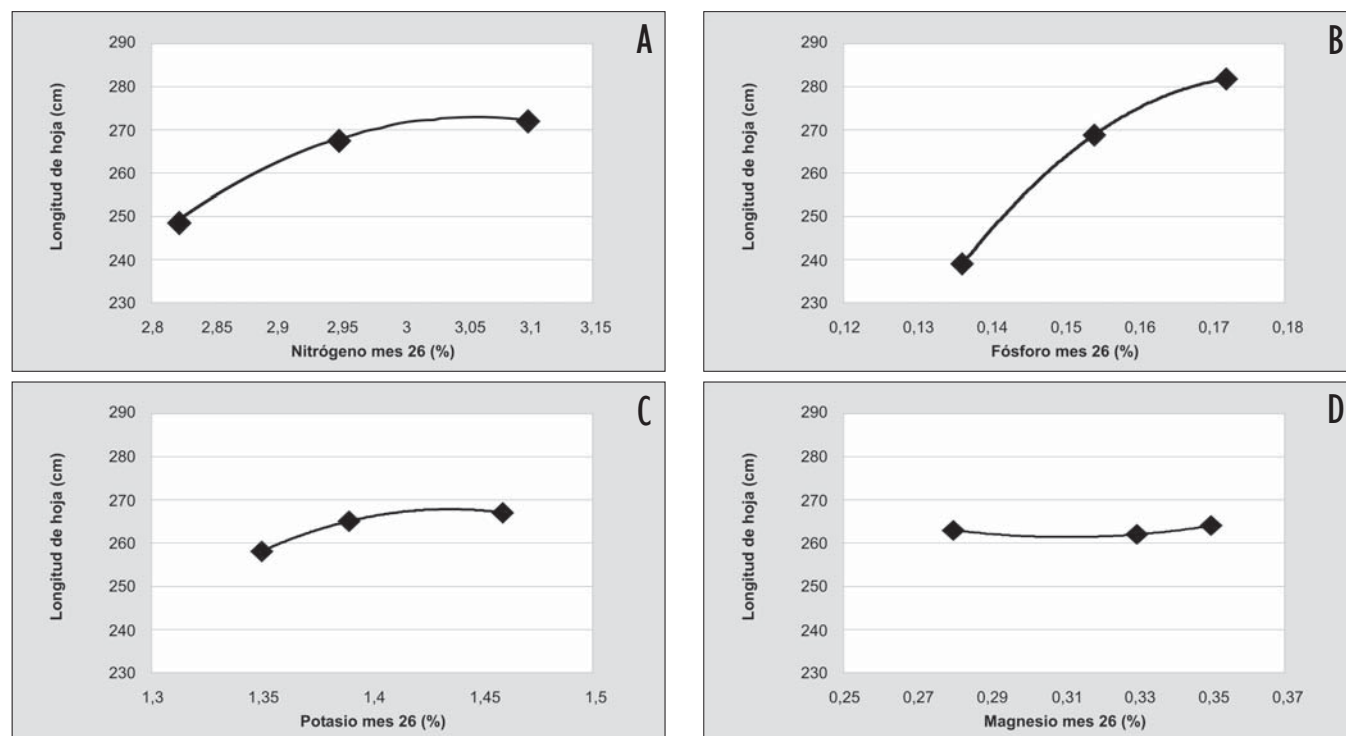


Figura 5 Crecimiento vegetativo y fertilización con: A. Nitrógeno; B. Fósforo; C. Potasio; D. Magnesio

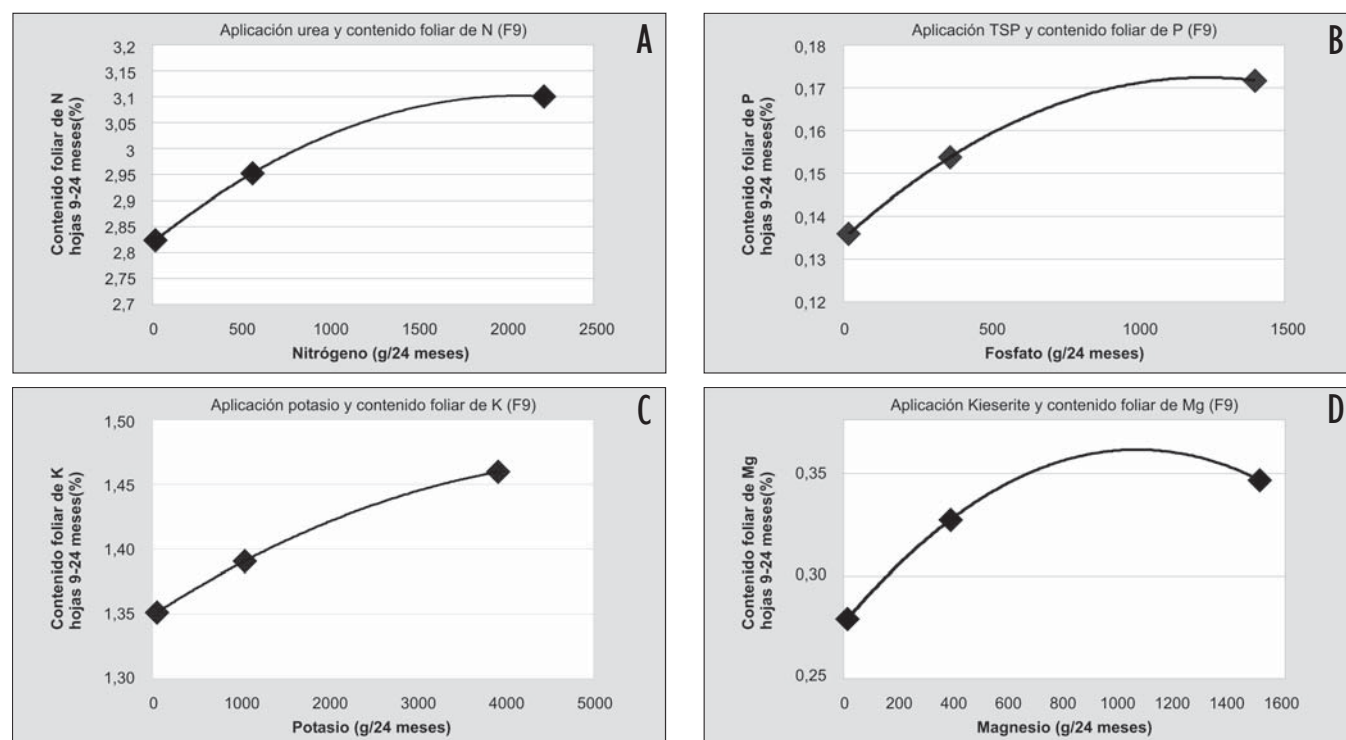


Figura 6 Aplicación de fertilizantes y nutrición de la palma

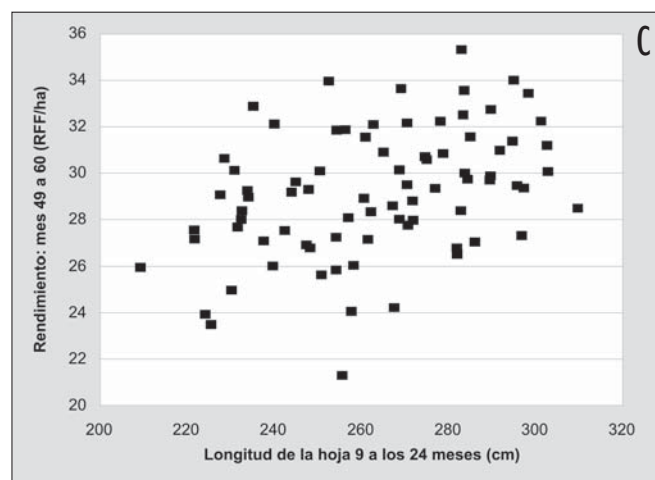
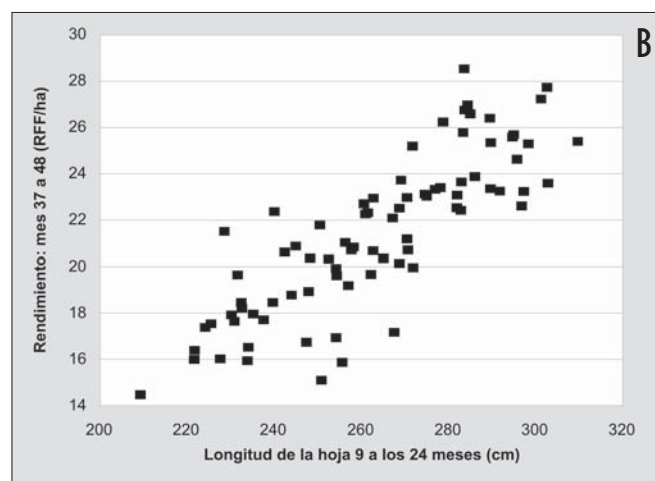
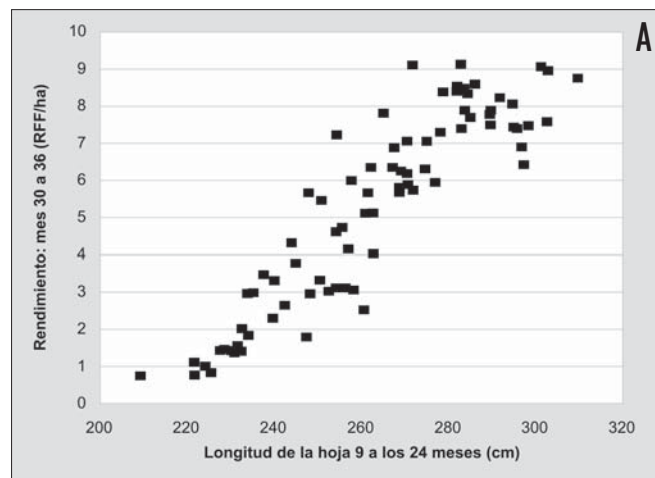
6b y 6c). Estos resultados confirman el contenido óptimo de nutrientes en las hojas para este tipo de material en esa edad (Tabla 1). Los niveles de rendimiento registrados durante los dos primeros años de cosecha están estrechamente relacionados con el desarrollo vegetativo de estas palmas al final del período inmaduro (Figuras 7a y 7b). Los niveles de rendimiento observados durante el tercer año de cosecha (del mes 49 al 60 después de siembra) son menos dependientes del desarrollo vegetativo de las palmas durante el período inmaduro, aunque la relación es todavía significativa (Figura 7c).

Tabla 1
Nivel óptimo de nutriente foliar a los 24 meses (hoja 9)

Nitrógeno	2,85 - 2,90 %
Fósforo	0,175 - 0,180 %
Potasio	1,35 - 1,40 %
Magnesio	< 0,28 %

Resultados similares se pueden obtener a escala comercial. La Figura 8a muestra el fuerte impacto del nitrógeno en el crecimiento vegetativo (longitud de hoja 17) de las palmas jóvenes. Por tanto, los rendimientos registrados están estrechamente relacionados con el desarrollo vegetativo logrado al final del período inmaduro (Figura 8b).

Es importante resaltar que en estos dos cuadros, cada punto representa un valor promedio para un bloque de 30 hectáreas. Adicionalmente, cada bloque ha recibido la misma cantidad de fertilizante desde la siembra. Por tanto, la separación de los puntos indica la necesidad de un manejo específico de sitio para recomendaciones de fertilización. Se requiere entonces un método apropiado para monitorear el estado de nutrición mineral de las plantas. El muestreo foliar normalmente se hace cada año, al comienzo del período de madurez o inmediatamente antes, por ejemplo, a los 24 meses. Un muestreo foliar a los 12 meses ayudaría a optimizar el manejo de la nutrición mineral en la fase final del período inmaduro, pero no aseguraría resultados completamente satisfactorios durante los primeros 12-14 meses, cuando cualquier deficiencia nutritiva tendría un impacto significativo en el crecimiento de las palmas.



Fuente: Caliman et al. (2002)

Figura 7 Ensayo 2: Impacto del crecimiento en el rendimiento de las palmas

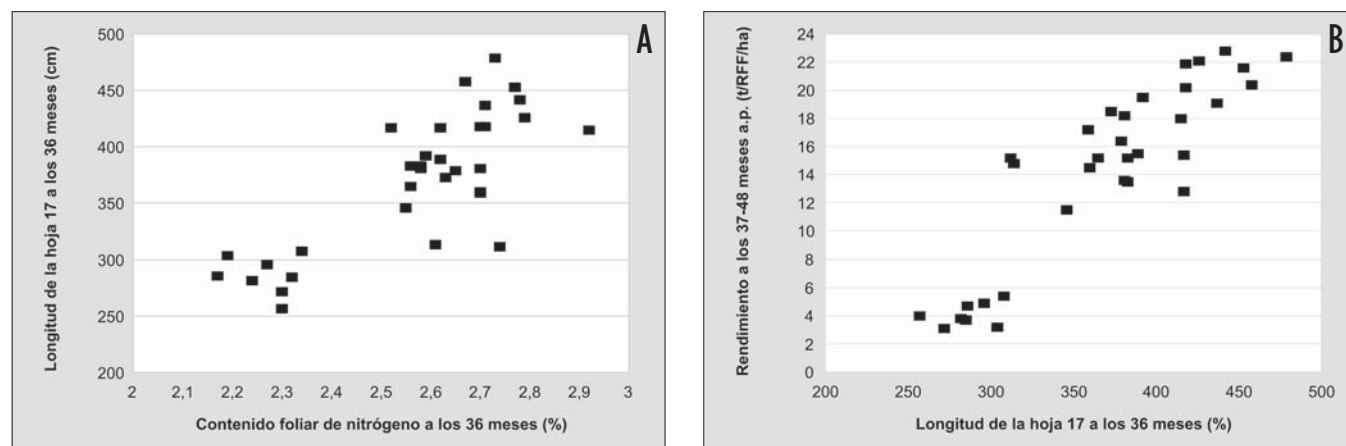
Fuente: Caliman *et al.* (2002)

Figura 8

Observación a nivel de plantación: A. Nitrógeno y crecimiento vegetativo; B. Rendimiento y crecimiento vegetativo

Así las cosas, aunque el crecimiento vegetativo es el resultado de todas las prácticas agrícolas, incluyendo fertilización, mantenimiento y manejo de suelos (drenaje), parece que un indicador basado en la medida de uno de los parámetros de crecimiento podría ayudar a la detección temprana de áreas subdesarrolladas y permitiría hacer ajustes localizados en fertilización, si se confirma una deficiencia de nutrientes. La ventaja de este indicador es que es muy directo, ya que los resultados son casi inmediatos, es relativamente barato y fácil de implementar con frecuencia (cada 6 meses) haciendo posible tomar acciones correctivas oportunamente.

Como la mayoría de los parámetros vegetativos (longitud de hoja, circunferencia, corte transversal de pecíolo, área de hoja o área relativa de hoja), están estrechamente relacionados entre sí, cualquiera de ellos puede ser seleccionado como indicador, siendo probablemente la longitud de hoja el más fácil de implementar.

El indicador se puede calificar comparándolo con una curva de crecimiento óptimo, establecida con anterioridad para cada situación ecológica, y cada material de siembra con base en resultados de ensayos, o por comparación entre áreas dentro de la misma plantación. Por tanto, una investigación general sobre áreas subdesarrolladas, incluyendo muestreo foliar específico, permitirá tomar rápidamente las acciones correctivas necesarias.

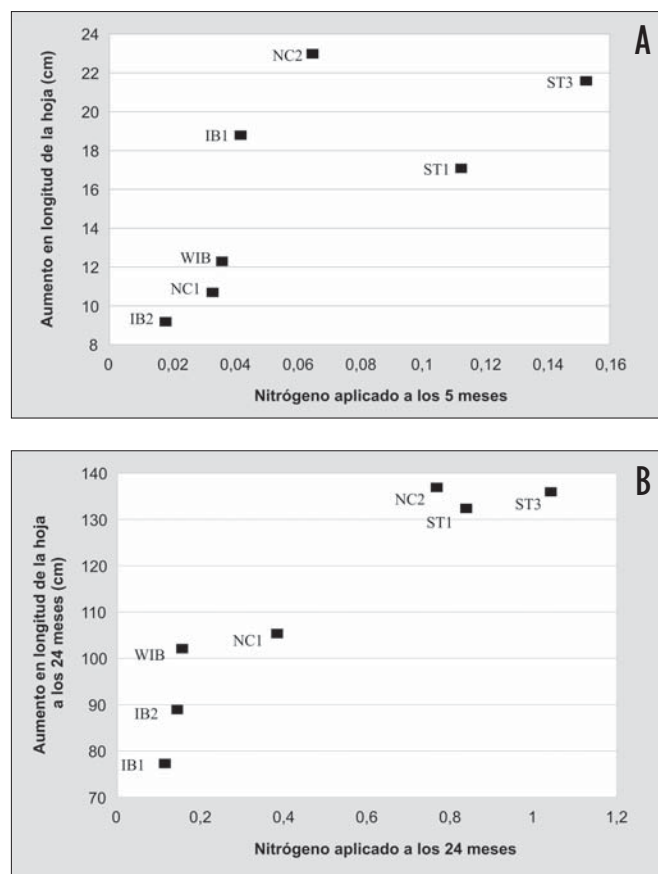
Selección de tipo de fertilizante para palmas inmaduras

En general, los fertilizantes simples dan muy buenos resultados, siempre y cuando se usen de manera apropiada. Por ejemplo, la volatilización del nitrógeno de la urea se puede limitar cuando se aplica el fertilizante en la época lluviosa, y ligeramente mezclado con suelo en el círculo. Se recomienda aplicar el sulfato de amonio en forma localizada donde el azufre sea un factor limitante, o aplicar en cantidades suficientes otro fertilizante que contenga azufre.

Generalmente la escasez de mano de obra es la razón para que muchas compañías prefieran aplicar fertilizantes compuestos a pesar de su costo más elevado. Esto conduce a la reducción del número de aplicaciones, de tal manera que la escasa mano de obra pueda enfocarse en otras tareas, como la cosecha en áreas maduras. Finalmente, el costo total de la aplicación de compuestos (costo de fertilizante + costo de aplicación) es más alto comparado con los fertilizantes simples, aunque a veces se sugiere una ligera reducción en la dosis de compuestos.

En situaciones específicas como suelos muy arenosos (textura con 90% de arena), los fertilizantes recubiertos de alta calidad dan muy buenos resultados en términos de eficiencia por unidad de nutriente aplicado, especialmente a corto plazo (Fig. 9a, 9b). Sin embargo, un régimen de fertilización apropiado, usando fertilizantes

simples, puede dar resultados igualmente buenos en el desarrollo de las palmas. Falta comparar la “energía” requerida para ambos tipos de fertilizante, pero, por ahora, estos fertilizantes recubiertos son tan costosos que prácticamente no son usados en plantaciones de palma.



ST1: régimen estándar de fertilización para palmas inmaduras en suelo mineral
 ST3: régimen de fertilización para palmas inmaduras adaptadas a suelos muy arenosos (mayores dosis y frecuencias)
 NC1: fertilizante recubierto de liberación lenta a dosis 1
 NC2: fertilizante recubierto de liberación lenta a dosis 2
 IB1: fertilizante compuesto a dosis 1
 IB2: fertilizante compuesto a dosis 2
 WIB: fertilizante en tableta durante año 1, y fertilizante compuesto durante año 2

Figura 9 Régimen de fertilización en suelos muy arenosos

Requerimientos de micro-nutrientes: Situación específica

Existen situaciones que exigen la aplicación de micronutrientes a las palmas. La más frecuente es en suelos de turba, donde se debe suministrar cobre, zinc, boro y a veces hierro. No es el propósito de este documento revisar todas las situaciones. Sin embargo, como ejemplo, es interesante presentar algunos resultados

obtenidos en suelos muy arenosos, donde se puede observar la deficiencia de cobre.

La deficiencia de cobre no se menciona con frecuencia en la literatura, excepto cuando se trata de suelos de turba (Ng Siew Kee y Tan, 1974; Gurmit, 1982). En Brasil se observó un caso en suelos sedimentarios terciarios (Pacheco *et al.*, 1986). En Sumatra, en suelos muy arenosos (80 a 95% de arenas), los síntomas de deficiencia de cobre aparecen en plantas jóvenes, poco después del transplante. Además de los síntomas típicos de amarillamiento foliar, el crecimiento de las plantas se ve seriamente afectado. Los ensayos de campo muestran que aplicaciones regulares de sulfato de cobre desde la siembra pueden prevenir la ocurrencia de esta deficiencia. Una aplicación de 10 g de CuSO₄ en el hoyo de siembra, seguida por una aplicación de 12,5 g cada 3 meses, da muy buenos resultados en términos de crecimiento de la palma (Tabla 2).

Tabla 2 Aplicación de cobre, análisis de hoja y crecimiento

	Hoyo de siembra (g/palma)	Aplicación superficie (g/palma/año)	Longitud hoja 9 (cm)	Contenido de Cu en	
				Hoja 3 (ppm)	Hoja 9 (ppm)
Cu0	0	0	182	2,3	2,3
Cu1	10	30	208	4,5	4,2
Cu2	10	60	232	5,0	4,8
Cu3	10	90	233	5,7	5,0

Los resultados del análisis foliar muestran que el contenido óptimo de cobre para las hojas 3 y 9 es aproximadamente 5 ppm.

Manejo de nutrición mineral durante el período de madurez

Durante el período de madurez, el indicador final clave para el agricultor es el rendimiento de las palmas. Aunque el rendimiento no es un indicador científico óptimo, como lo es el resultado de todas las prácticas agrícolas, representa el ingreso económico para el cultivador.

Como se mencionó anteriormente, uno de los pilares de la metodología consiste en establecer curvas de respuesta de rendimiento y contenido de nutrientes en la hoja a la dosis de fertilizante aplicado en ensayos de campo. Los parámetros

económicos, nivel de rendimiento objetivo y tendencias de fertilidad del suelo, también se toman en cuenta.

Por ejemplo, en suelos sedimentarios en Sumatra del Norte (Indonesia), se están llevando a cabo ensayos de fertilización para estudiar la nutrición mineral de las palmas maduras (palmas de 7 años al comienzo del ensayo) con relación a cuatro elementos mayores N, P, K y Mg. Se han observado respuestas positivas de rendimiento para aplicaciones de urea, MOP y kieserite, con un antagonismo entre K y Mg (Caliman *et al.*, 2001).

La Figura 10 presenta las curvas de respuesta de rendimiento (con base en el modelo Mitscherlich (2)) adecuado a los resultados promedio registrados durante los 10 a 12 años de edad, para cada fertilizante (urea, MOP y kieserite). Para “reducir” el impacto del antagonismo entre K y Mg en este estudio específico, las bajas dosis de kieserite no se tomaron en cuenta en el análisis para curva de respuesta a aplicaciones de MOP. Igualmente, las dosis bajas de MOP no se tomaron en cuenta en el análisis para curva de respuesta a aplicaciones de kieserite.

$$\text{Rendimiento}_m = a_m - b_m \text{EXP}(-c_m \text{FER}_m) \quad (2)$$

con:

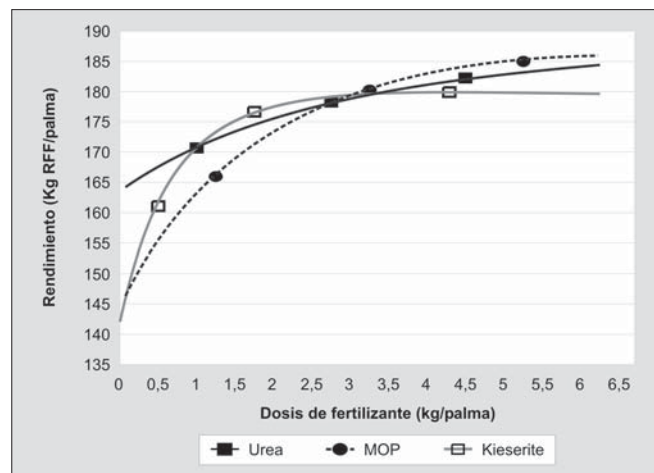
Rendimiento_m = respuesta de rendimiento a fertilizante m .

FER_m = dosis de fertilizante m .

a_m , b_m , c_m = constantes descritas anteriormente, con respecto a fertilizante m .

La Tabla 3 presenta el valor de los parámetros a , b y c de las tres curvas con relación a los tres fertilizantes.

- Los valores a muestran que N y K son factores limitantes para el rendimiento de las palmas, cuando kieserite ya no es limitante.
- Los valores b muestran que las aplicaciones de MOP tienen el impacto más fuerte en términos de mejora en rendimiento (42,7 kg RFF/palma/año). El más bajo se obtiene con aplicación de urea (23,2 kg RFF/palma/año).
- Los valores a y $b \cdot c$ muestran la alta eficiencia de pequeñas dosis de kieserite (a un régimen bajo de fertilización, una unidad adicional



Fuente: Caliman *et al.* (2001)

Figura 10 Respuesta del rendimiento a dosis de fertilizante. Sumatra del Norte

de kieserite aplicada resulta en un aumento de 59,4 unidades de RFF/palma/año).

El modelo de Mitscherlich refleja el punto en el que el nivel de aumento de rendimiento disminuye cuando la dosis de fertilizante aumenta. Es claro que, por encima de cierta dosis, cualquier aplicación adicional de fertilizante no compensa el pequeño aumento en rendimiento.

Este punto se llama tasa óptima de fertilizante (OFR por sus iniciales en inglés), que da el máximo rendimiento económico. Esta tasa óptima de fertilizante depende del ingreso generado (en relación con el precio de ACP P_{yield}), y del costo de los fertilizantes P_{fer} . Estos dos parámetros se pueden presentar como una razón financiera $R = P_{\text{fer}} / P_{\text{yield}}$, dando el número de unidades de RFF requerido para pagar una unidad de fertilizante aplicado.

La tasa óptima de fertilizante, OFR, se puede calcular de la curva de eficiencia económica

Tabla 3 Parámetros de curvas de respuesta de rendimiento de Mitscherlich para fertilizante

Fertilizante	a_m	b_m	c_m	$b_m \cdot c_m$
Urea	186,7	23,2	0,37	8,5
MOP	187,3	42,7	0,56	23,8
Kieserite	179,6	39,4	1,51	59,4

Fuente: Caliman *et al.* (2001)

específica del fertilizante m :

$$dYIELD_m / dFER_m = b_m * c_m \text{ EXP}(- c_m FER_m) \quad (3)$$

Esta curva muestra la eficiencia económica del fertilizante aplicado, en otras palabras, el aumento esperado en rendimiento después de la adición de una unidad de fertilizante. La máxima utilidad se obtiene para una eficiencia igual a R :

$$dYIELD_m / dFER_m = b_m * c_m \text{ EXP}(- c_m OFR_m) = R_m \quad (4)$$

entonces:

$$OFR_m = -1 / c_m \text{ LN}(R_m / b_m * c_m) \quad (5)$$

Por tanto, la curva de respuesta de contenido de nutrientes en la hoja da el valor correspondiente del contenido foliar óptimo de potasio, K_{opt} .

$$FOL_m = a_{Fm} - b_{Fm} \text{ EXP}(- c_{Fm} FER_m) \quad (6)$$

donde:

contenido foliar FOL_m con aplicación de la tasa de fertilizante FER_m .

$$M_{opt} = a_{Fm} - b_{Fm} \text{ EXP}(- c_{Fm} OFR_m) \quad (7)$$

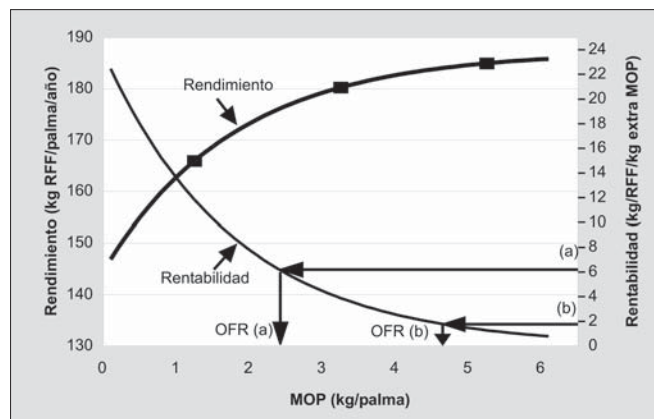
con:

M_{opt} contenido óptimo foliar de nutriente m , relativo a la tasa óptima de fertilizante OFR_m .

Las Figuras 11 y 12 muestran la curva de eficiencia económica, y la determinación de OFR y K_{opt} en relación con el potasio en el ejemplo anterior en Sumatra del Norte. La Tabla 4 presenta OFR y M_{opt} en relación con los tres fertilizantes del ejemplo de Sumatra del Norte.

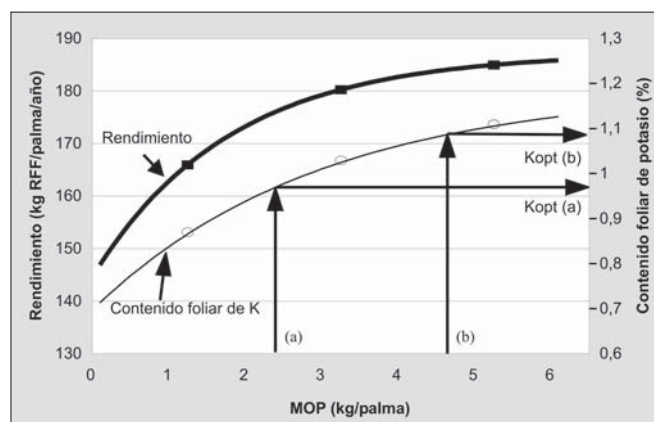
Se debe resaltar que el valor de OFR es específico de las condiciones del ensayo, donde se ha aplicado la misma tasa de fertilizante cada año consecutivo. En situaciones de campos comerciales, la tasa óptima puede diferir dependiendo del régimen histórico de fertilización de las palmas. Por otro lado, los valores de contenido óptimo de nutrientes en las hojas son más independientes de la historia de las palmas.

Estos dos parámetros (OFR y M_{opt}), como se definieron previamente, son la base para establecer un programa de fertilización. Por tanto, es posible determinar la tasa de fertilización a aplicar en cada bloque, con base en el nivel de nutrición de la palma (8a) (8b):



Fuente: Caliman et al. (2001)

Figura 11 Curva de respuesta de rendimiento y eficiencia económica de MOP



Fuente: Caliman et al. (2001)

Figura 12 Curvas de respuesta de K y rendimiento, contenido foliar óptimo de K

Tabla 4 Tasa óptima de fertilizante (OFR) y contenido foliar de nutrientes M_{opt}

	Urea	Potasio (KCl)	Kieserite
P_{fer} (US\$/t)	122,3	143,8	91,2
$R = P_{fer} / P_{pro}$	5,3	6,3	4,0
OFR (kg/palma)	1,3	2,4	1,8
M_{opt} (%)	2,50	0,97	0,19

Costo de producción = 150 US\$/t ACP
 Tasa de extracción de aceite: TEA = 23%
 Ingreso = 250 US\$/t ACP ($\pm$ 300 US\$/t ACP CIF Rotterdam)
 Fuente: Caliman et al. (2001)

$$FER_{mi} = OFR_m - COR_{mi} \quad (8a)$$

donde:

FER_{mi} es la tasa de fertilizante m a aplicar en el bloque comercial i .

COR_{mi} es la tasa correctiva de fertilizante m en relación al bloque comercial i .

entonces:

$$COR_{mi} = OFR_m - FER_{mi} \quad (8b)$$

y:

$$COR_{mi} = - [1/c_{TFm} \text{LN}((a_{TFm} - FOL_{mi})/b_{TFm})] - [1/c_m \text{LN}(R_m/b_m * c_m)] \quad (9)$$

donde:

FOL_{mi} es el contenido de nutriente m foliar observado en el bloque comercial i .

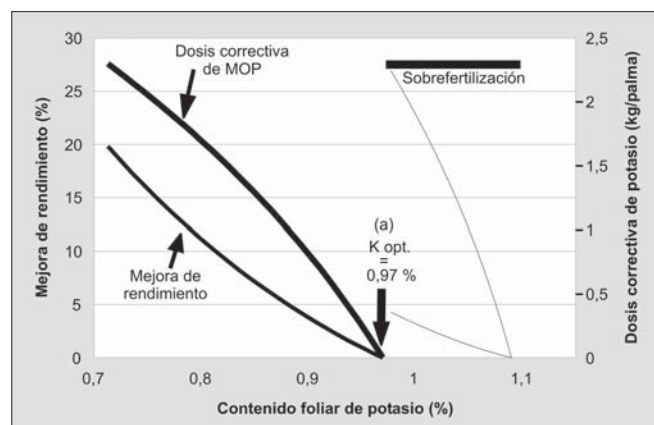
La Figura 13 muestra las variaciones de la dosis correctiva de potasio para una amplia gama de niveles de nutrición de potasio. El aumento esperado del rendimiento se puede predecir a partir de estas curvas. También es posible cuantificar el impacto en rendimientos y el costo del exceso de fertilización.

Como conclusión, las recomendaciones estándar de fertilizante para la palma se pueden basar en los siguientes cuatro componentes:

- El estado actual de nutrición de la palma obtenido del análisis foliar FOL_m
- el nivel óptimo de nutriente M_{opt} objetivo
- la tasa óptima de fertilizante, OFR
- la tasa correctiva de fertilizante COR , que está relacionada con la intensidad de la curva de respuesta observada en el ensayo de fertilización.

Balance biológico básico entre nutrientes

El manejo y los estudios de nutrición mineral deben tomar en cuenta los balances biológicos básicos entre nutrientes. La mayoría de ellos son bien conocidos por los agrónomos especializados en palma de aceite, ya que las consecuencias son a menudo visibles a través de los antagonismos o sinergias en la absorción de nutrientes. Por ejemplo, la tendencia a la disminución del nivel óptimo de nitrógeno con la edad de la planta, el frecuente antagonismo entre absorción de



Fuente: Caliman *et al.* (2001)

Figura 13 Dosis correctiva de MOP y mejora en rendimiento (condiciones "a")

potasio y magnesio, la sinergia entre potasio y cobre, calcio y cloro, etc.

Un caso interesante es la sinergia entre el nitrógeno y el fósforo observada en Sumatra (Tampubolon *et al.*, 1990) y en otras situaciones (Foster, 1993). La consecuencia es que el impacto del fósforo debe ser analizado considerando el valor relativo a un óptimo, determinado con base en el nivel de nitrógeno. En un ensayo de fertilizantes fosfatados en Sumatra, se observó una estrecha relación entre el nivel de rendimiento y el valor relativo de P (Figura 14a). Resultados similares se obtuvieron en palmas jóvenes, en bloques comerciales en Kalimantan (Figura 14b).

Importancia de los parámetros económicos

Durante la última década, el precio del ACP ha fluctuado entre US\$255 y 700/t. Estas variaciones son parte de ciclos cuya frecuencia y amplitud se relacionan con cambios en niveles de producción y consumo, y saldos de inventario (Oil World, 1999). Estos parámetros dependen de eventos naturales (variaciones de clima) y de cambios en las políticas agrícolas en los principales países exportadores.

Hasta cierto punto, las plantaciones deberán tomar en cuenta esas variaciones para ajustar sus costos de producción al precio del producto y el posible escenario evolutivo a corto y mediano plazo. Varios autores han demostrado que la tasa óptima de fertilizante depende, en gran parte,

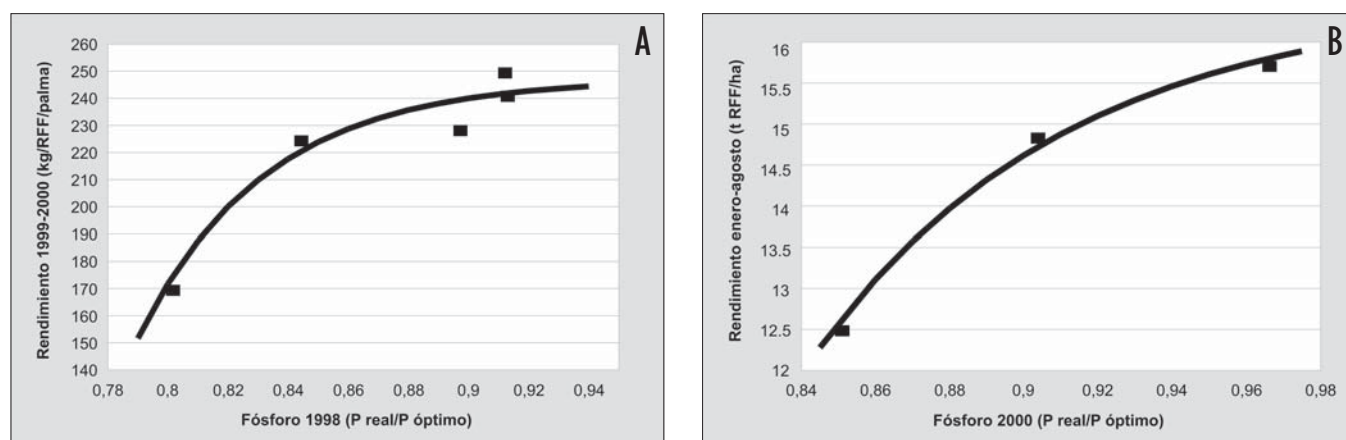


Figura 14 Fósforo y rendimiento: A. Riau (Indonesia); B. Kalimantan Oriental

del ACP (Gunn, 1962; Piggott, 1968; Ng, 1972; Lo y Goh, 1973; Ochs y Ollagnier, 1977; Ochs, 1985; IRHO-CIRAD, 1992; Caliman *et al.*, 2000). Se entiende, por tanto, que para maximizar las utilidades, el régimen de fertilización se debe adaptar no sólo a las condiciones ecológicas, sino también a los parámetros económicos.

La ecuación (5), definida anteriormente, muestra que la OFR (Tasa Óptima de Fertilizante) depende directamente de la relación R entre el costo del fertilizante y el precio del ACP. En consecuencia, el nivel óptimo de contenido de nutrientes en las hojas M_{opt} también varía con R , ya que depende directamente del valor OFR (7). En el ejemplo de Sumatra, las Figuras 11 y 12 muestran el nivel de OFR y K_{opt} cuando el precio del ACP cambia de US\$300/t (situación a) a US\$550/t (situación b), el costo de MOP no cambia. La Tabla 5 resume estas situaciones y parámetros.

Se observan diferencias significativas entre los dos valores de OFR con relación a MOP, con 2,4 kg/palma y 4,65 kg/palma para la situación a y la situación b, respectivamente. Las Figuras 15a y 15b muestran las variaciones de OFR y K_{opt} con ambos precios de ACP y MOP. La Figura 16 muestra las variaciones de OFR y K_{opt} únicamente con el precio del ACP, el precio de MOP no cambia. Un análisis similar se puede hacer para los otros fertilizantes incluidos en el régimen de fertilización.

Estos resultados confirman que el manejo de la nutrición mineral en plantaciones de palma de

aceite y las recomendaciones de fertilización no deben obedecer a un procedimiento estático, sino que se deben adaptar al ambiente económico, de acuerdo con el posible escenario proyectado para los precios del producto, teniendo en cuenta que entre cualquier cambio en el régimen de fertilización y la reacción de las palmas, pueden transcurrir hasta 3 años.

Ajustes a la recomendación de fertilización estándar

Dos de las razones principales para ajustar las tasas de fertilizante recomendadas son:

- Compañías que enfrentan problemas temporales de flujo de caja
- Rendimiento esperado significativamente mayor o menor de lo usual.

Tabla 5 Tasa óptima de fertilizante (OFR) MOP, y contenido foliar óptimo de K (K_{opt}) con base en dos situaciones económicas

		Situación a	Situación b
ACP	(US\$ / t)	300	550
$R = P_{fer} / P_{pro}$		6,3	1,8
OFR	(kg / palma)	2,4	4,65
M_{opt}	(%)	0,97	1,09

Costo de KCl: $P_{fer} = 143,8$ US\$ / t

Costo de producción = 150 US\$/t ACP

Tasa de extracción de aceite: TEA = 23%

Situación a: Ingreso = 250 US\$/t ACP (± 300 US\$/t ACP CIF Rotterdam)

Situación b: Ingreso = 500 US\$/t ACP (± 550 US\$/t ACP CIF Rotterdam)

Fuente: Caliman *et al.* (2001)

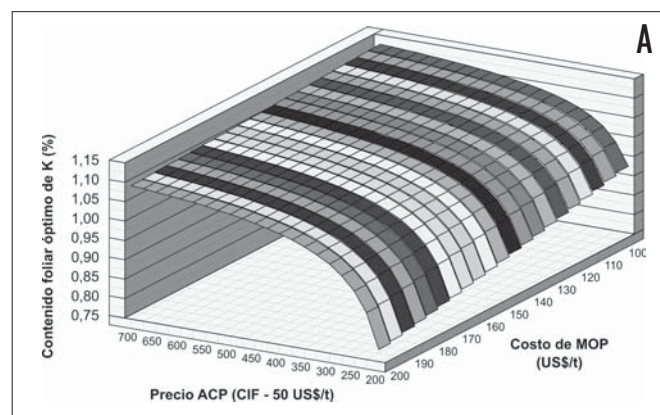
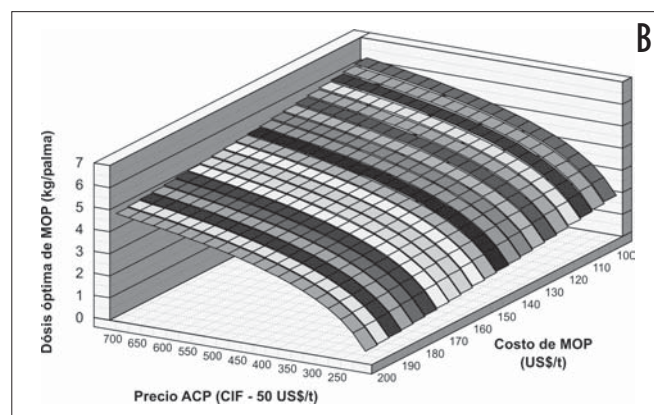
Fuente: Caliman *et al.* (2001)

Figura 15 Fertilización de potasio A. Variaciones de contenido foliar óptimo de K. - B. Variaciones óptimas de dosis de MOP

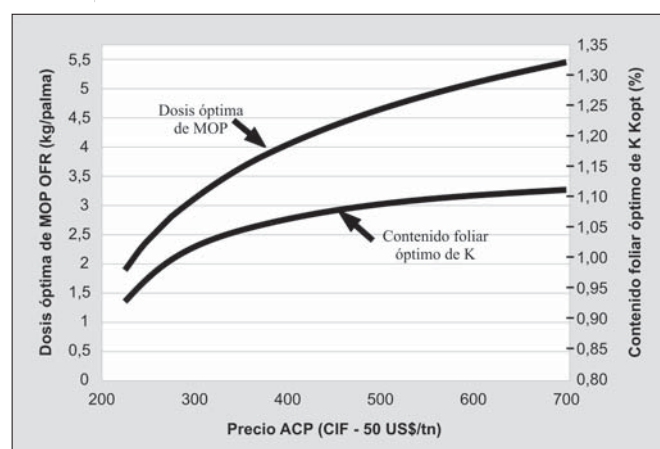


Figura 16 OFR y K óptimo en relación a MOP. Sumatra del Norte (MOP = 145 US\$/t)

Las compañías con problemas temporales de flujo de caja pueden verse obligadas a reducir costos de producción, incluyendo fertilizantes. La reducción de fertilización debe ser lo último a considerar, de manera que deberían analizarse otras áreas donde el ahorro sea posible:

- Sustituir fertilizantes costosos por otros más económicos, por ejemplo a través de la maximización de los residuos de la planta de beneficio (racimos vacíos, efluentes)
- Maximizar la eficiencia de la cantidad de fertilizante aplicado.

Si fuera necesario un racionamiento de fertilizante, la implementación de esta política debe

ser muy selectiva en el tipo de fertilizante a reducir y las palmas involucradas. El objetivo es limitar, tanto como sea posible, el impacto negativo en el comportamiento futuro de las palmas.

En el ejemplo de Sumatra presentado anteriormente, las curvas de respuesta de rendimiento permiten evaluar, hasta cierto punto, el impacto del racionamiento (10a). Aunque no se espera que las políticas de racionamiento sean duraderas, este tipo de análisis constituye una herramienta para el proceso de toma de decisiones.

$$dPRO_m = PRO_m \text{ opt} - PRO_m \text{ rat} \quad (10a)$$

donde:

$dPRO_m$ es el impacto en rendimiento relacionado con la tasa de racionamiento, *rat*, de fertilizante *m*.

$PRO_m \text{ opt}$ es el rendimiento económico óptimo en relación con la curva de respuesta de rendimiento al fertilizante *m*.

$PRO_m \text{ rat}$ es el rendimiento esperado en relación con el racionamiento permanente de fertilizante *m*. entonces,

$$dPRO_m = b_m [\text{EXP}(-c_m \text{ OFR}_m (1 - \text{rat})) - \text{EXP}(-c_m \text{ OFR}_m)] \quad (10b)$$

Debido a que no se han registrado los efectos de aplicaciones de fertilizantes fosfatados desde el comienzo de los ensayos, el fosfato debe ser el fertilizante prioritario en términos de racionamiento, en bloques comerciales donde el contenido foliar de P es similar o superior al

observado en los ensayos. Con relación a urea, MOP y kieserite, la Figura 17 muestra la disminución de rendimiento esperada en relación con el racionamiento continuo. Cuando el régimen de fertilización anterior ha sido alto (correspondiente a altos precios de ACP = US\$550 CIF/t), un racionamiento inferior a 60% de la tasa inicial de fertilizante debe enfocarse en kieserite, ya que la disminución esperada del rendimiento será más limitada que con el racionamiento de urea o MOP (Fig. 17a). Este último (MOP) tendrá el impacto negativo más alto. Cuando el régimen de fertilización anterior es moderado (correspondiente a precios bajos de ACP = US\$300 CIF/t), un racionamiento inferior a 80% debe seguir una secuencia diferente: urea, luego kieserite y finalmente MOP (Fig. 17b).

La diferencia en comportamiento entre urea y kieserite se debe a la diferencia de la forma de la curva de respuesta de rendimiento de los dos fertilizantes: como se mencionó anteriormente, un sistema de fertilización bajo en kieserite tiene un alto impacto en el rendimiento de la palma. Desde luego hay que tener en cuenta que se debe mantener un balance mínimo entre nutrientes. Por tanto, “fertilizante prioritario” en términos de racionamiento no significa sistemáticamente que 100% de este fertilizante se suprima antes de racionar el siguiente.

Estas conclusiones no toman en cuenta posibles efectos persistentes de aplicaciones de fertilizante

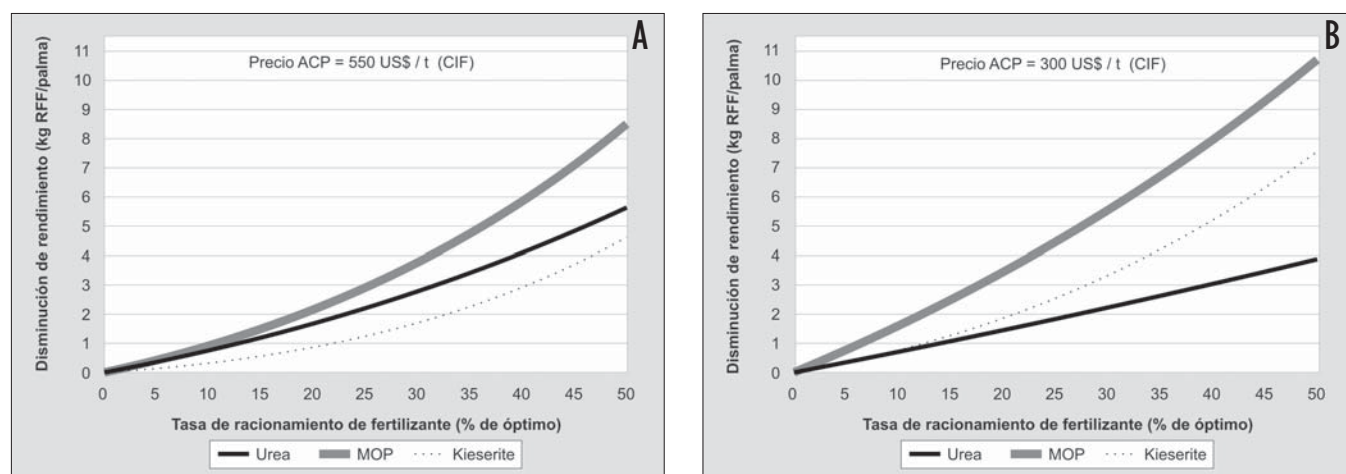
anteriores (especialmente en nuestro ejemplo con MOP y kieserite), ni el hecho de que el racionamiento probablemente será una medida temporal. Sin embargo, da una idea del impacto máximo que se puede esperar.

Cuando las proyecciones de producción muestran rendimientos significativamente más altos (por ejemplo después de dos años de producciones muy bajas) o más bajos de lo normal (por ejemplo después de una sequía severa), es aconsejable ajustar el régimen de fertilización tomando en cuenta las variaciones en extracción de nutrientes por el cultivo. Con base en datos presentados por Ng y Thamboo (1967), el impacto de una variación de 5 toneladas de RFF se presenta en la Tabla 6.

Esta tabla da una idea del nivel de ajuste en las tasas de fertilizante que pueden ser recomendables. Sin embargo, esta política se aplica principalmente cuando se espera un alto rendimiento, pero casi nunca cuando se proyecta una producción baja.

Manejo de nutrición mineral en palma de aceite: Perspectivas

Una evaluación tentativa de los requerimientos en términos de investigación para el mejoramiento del manejo de la nutrición mineral de palma de aceite resultaría en una larga lista de temas interesantes.



Fuente: Caliman et al. (2001)

Figura 17 Racionamiento de fertilizante y rendimiento. Sumatra del Norte

Tabla 6 Nutrientes extraídos por un cultivo de palma de aceite (Ng y Thamboo, 1967)

	N	P	K	Mg
Nutriente extraído por 25 t RFF (kg/ha)	93,5	11,0	92,7	19,3
	Urea	TSP	MOP	Kieserite
Fertilizante equivalente para 5 t RFF (kg/palma)	0,280	0,080	0,250	0,160

Obviamente, el paso a agricultura de precisión, con base en el desarrollo del sistema GIS, probablemente usando tecnología de detección remota, llevaría a un aumento de la eficiencia del fertilizante aplicado, dando precisión a las aplicaciones en tiempo y en espacio (Nguyen *et al.*, 1993; Fairhurst *et al.*, 2000; Wanasuria *et al.*, 1996).

En este documento mencionaremos tres temas clave que creemos deben ser desarrollados en el futuro:

- El impacto ambiental del manejo de fertilizantes
- La biodisponibilidad de nutrientes en el suelo y la relación con las palmas
- La caracterización del material de siembra.

Impacto ambiental del manejo de fertilizantes

El impacto de las prácticas agrícolas en el ambiente se ha convertido en un tema de importancia para los grupos ambientalistas (ONG) y los consumidores. El cultivo y desarrollo de la palma de aceite está incluido en la agenda de las ONGs. El reto es desarrollar sistemas de producción sostenible en su más amplia definición P³: Planeta (ambiente), Gente (social), Utilidad (economía).

Para el manejo de nutrición mineral, el reto consistirá en suministrar suficientes nutrientes a las palmas para lograr su potencial, sin afectar el ambiente (contaminación de agua superficial y subterránea) y preservando los recursos naturales.

La propuesta de un balance nutricional permitiría a los agrónomos evaluar la calidad de las tierras para el corto, mediano y largo plazos, y proyectar efectos ambientales indeseables, como la contaminación de las aguas freáticas y superficiales o extracción de nutrientes del suelo.

Junto con el programa de recomendación de fertilizantes, se deben establecer sistemáticamente parámetros nutricionales.

Adicionalmente, junto con la curva de respuesta de rendimiento obtenida de los ensayos de fertilización, se debe elaborar una curva de respuesta de riesgo ambiental. Por ejemplo, las Figuras 18a, 18b y 18c muestran un cálculo tentativo del riesgo ambiental relacionado con el ensayo de fertilización en Sumatra, mencionado anteriormente. El estimado se basa en el modelo de inmovilización, extracción y reciclaje de nutrientes, propuesto por Ng y Thamboo (1967). Aquí el riesgo ambiental es la diferencia entre los requerimientos de la palma y la cantidad de nutriente aplicada y presentada en valor absoluto. La unidad está en kilogramos de nutriente por hectárea. ZR representa la tasa de fertilizante con cero riesgos teóricos para el ambiente. Aplicaciones inferiores de fertilizante llevarían a una disminución de fertilidad del suelo por extracción de nutrientes, mientras que dosis mayores de fertilizante produciría contaminación de aguas y extracción de depósitos naturales de, por ejemplo, potasa, fosfato y kieserite.

El reto principal para los investigadores será desarrollar prácticas agrícolas donde el OFR y ZR se confundan, para maximizar la productividad y minimizar el riesgo ambiental.

Todos estos estudios deben resultar en la definición de indicadores específicos y los correspondientes sistemas de calificación que puedan ser usados por cultivadores y agrónomos para evaluar el impacto ambiental de sus prácticas.

Una segunda fuente de preocupaciones, hasta cierto punto relacionada con el manejo de nutrición mineral, se refiere a la valorización de desechos en plantaciones de palma de aceite. Por cada tonelada de ACP producida, la industria

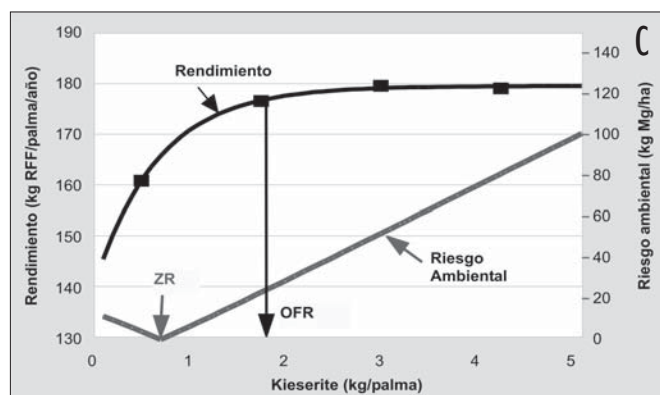
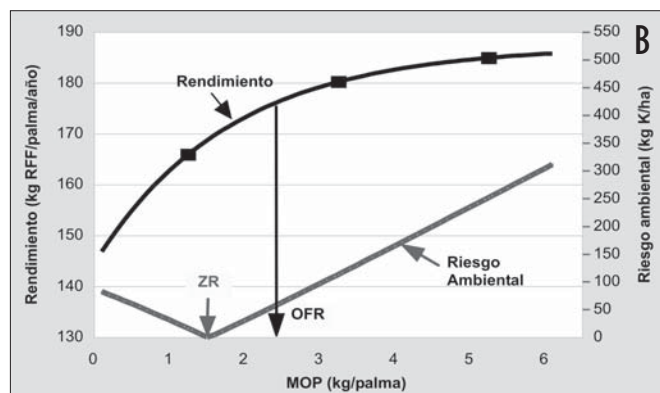
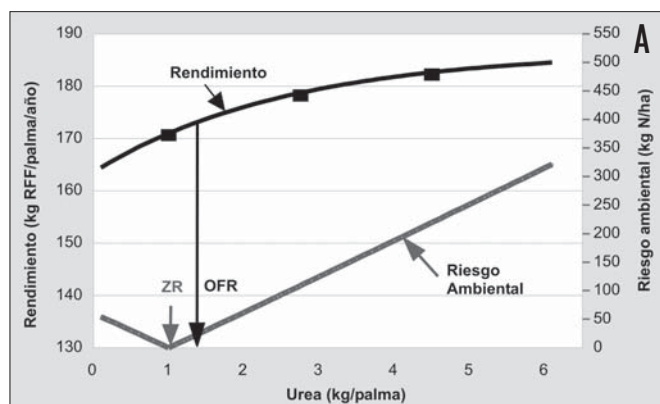
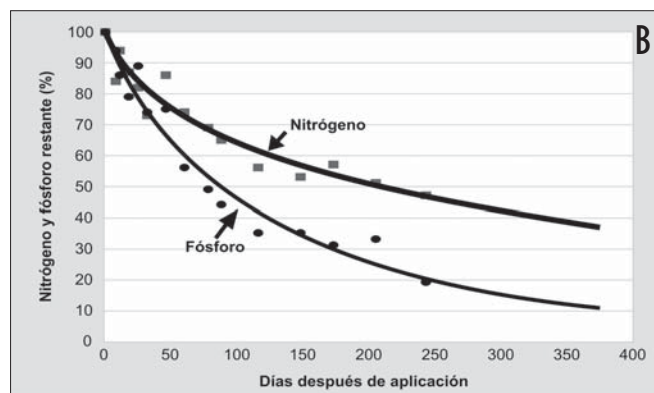
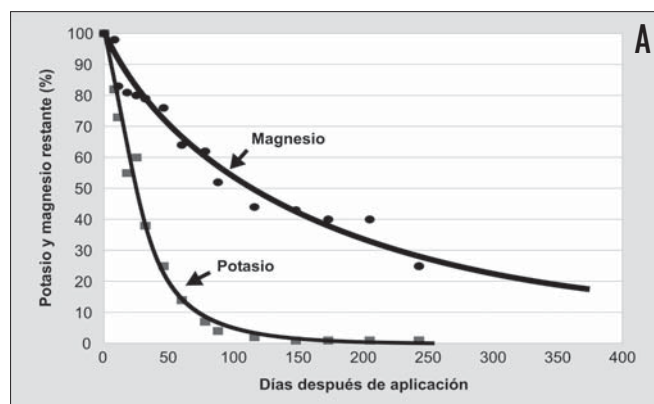


Figura 18 Curva de respuesta de rendimiento a dosis de: A. urea; B. MOP; C. kieserite y riesgo ambiental

palmera tiene que lidiar con aproximadamente una tonelada de racimos vacíos (RFF) y tres toneladas de efluentes de planta de beneficio (POME por sus iniciales en inglés). El alto valor como nutriente orgánico de estos productos hace posible una valorización a través de la sustitución de fertilizantes minerales. Varios estudios han confirmado el impacto positivo de la aplicación de RFF en la nutrición de las palmas (Loong *et al.*, 1987; Lim y Chen, 1989; Hornus y Nguimjeu, 1992). Estudios más recientes han revelado la



Fuente: Caliman *et al.* (2001)

Figura 19 Dinámica de liberación de: A. K y Mg; B. N y P de RV (racimo vacío) después de aplicación al campo

dinámica de la liberación de nutrientes de RFF después de su aplicación al campo (Figura 19a y 19b), y el impacto positivo en las características químicas y físicas del suelo (Fig. 20 y 21) (Caliman *et al.*, 2001; Cirad, 2001).

La situación es diferente para los efluentes de las plantas de beneficio (POME). En muchos casos, la tasa recomendada para aplicación al suelo, que puede llegar hasta 750 m³/ha, resulta en muy baja eficiencia nutricional, a veces 5 ó 7 veces inferior al uso de fertilizantes minerales. Además, existe un riesgo ambiental donde se usa el sistema de aplicación en camas planas. Por ejemplo, el alto contenido de potasio representa un riesgo de contaminación de aguas, y afecta la estabilidad física del suelo. En este campo se requiere más investigación.

Manejo de nutrición mineral: Hacia un enfoque funcional

La tendencia hacia la sostenibilidad busca mayor claridad por parte de los agrónomos, para mejorar y optimizar las prácticas agrícolas. Con

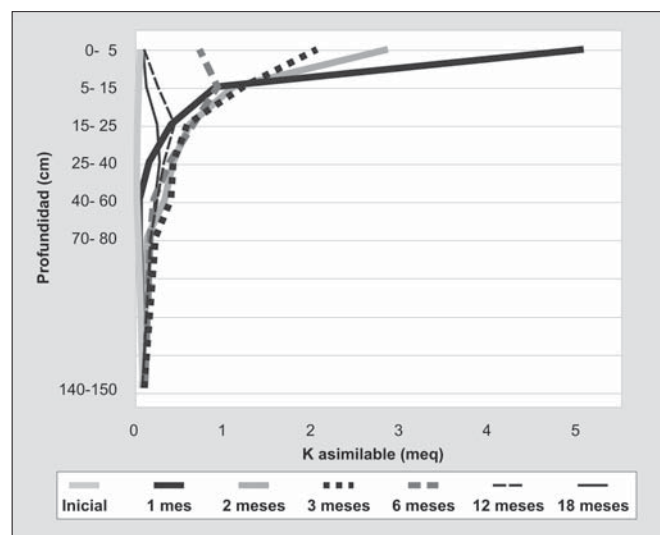


Figura 20 Variación en K intercambiable en el suelo después de aplicación de racimo vacío

relación al manejo de fertilizantes, esto se puede lograr a través de un mejor conocimiento de la biodisponibilidad de los nutrientes en el suelo y en las palmas. Así, modelos funcionales pueden ser desarrollados e integrados en los modelos actualmente desarrollados, en relación con la asimilación del carbono.

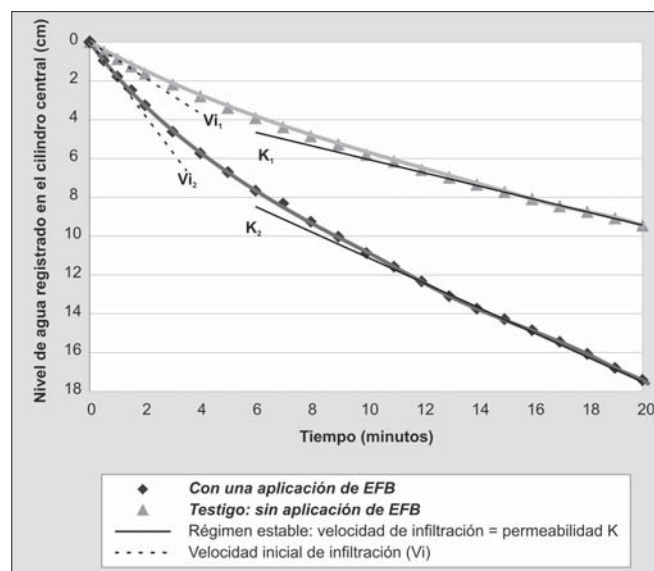
Estos estudios deben incluir:

- A nivel de suelo: una evaluación del balance entre nutrientes y su disponibilidad para las palmas
- A nivel de palma: una evaluación de los requerimientos de la palma para cada nutriente en cada etapa vegetativa y de desarrollo reproductivo
- Una evaluación de las reservas de la palma y la dinámica de su movilización.

Finalmente, se deben realizar estudios completos sobre el ciclo de los nutrientes en el agrosistema de la palma de aceite como un todo.

Manejo de nutrición mineral: Hacia una caracterización del material de siembra

Existe un creciente número de estudios que muestran diferencias significativas en el estado de nutrición mineral de los diferentes materiales



Fuente: Caliman *et al.* (2001)

Figura 21 Permeabilidad del suelo (K) (promedio de 10 repeticiones para cada tratamiento)

de siembra (Gnayoro, 1992; Caliman *et al.*, 1994; Jacquemard *et al.*, 2002). Sin embargo, todavía no se pueden usar para un manejo específico de fertilizantes, ya que los niveles óptimos de contenido de nutrientes en las hojas y las tasas específicas de fertilizante no han sido probados todavía.

A medida que el material de siembra propuesto por fitomejoradores y proveedores de semilla se hace cada vez más homogéneo dentro de las categorías, hasta llegar a una supuesta uniformidad de material clonado, asumimos que las diferencias de requerimientos de nutriente entre categorías llevarán a los agrónomos a proponer sistemas de fertilización basados en el material de siembra.

Para el futuro, el objetivo de los proveedores de semilla debe ser suministrar al cultivador la máxima información técnica posible acerca de las características de la semilla, incluyendo requerimientos específicos en términos de nutrición mineral.

Adicionalmente, dichos estudios pueden conducir a los fitomejoradores a identificar material de siembra altamente eficiente en asimilación de nutrientes, e incorporar estas propiedades en futuros programas de mejoramiento genético. 🌴

Bibliografía

- BASKET, J.P.C.; HARTAS SOEWAR, H.; SUHANAN, S.E. 2002. Managing through crisis and change (P.T. SOCFINDO's experiences in plantation management 1996-2002). 2002 International Oil Palm Conference. 8-12 July 2002. Bali, Indonesia, 25p.
- CALIMAN, J.P.; DANIEL, C.; TAILLIEZ, B. 1994. Oil Palm Mineral Nutrition. Plantations, recherche, développement, v.1, no.3, p.49-54.
- CALIMAN, J.P.; HARDIANTO, J.; NG, M. 2001. Strategy for fertiliser management during low commodity price. PORIM International Palm Oil Congress. 20-23 August 2001. Kuala Lumpur, Malasia.
- CALIMAN, J.P.; BUDI, M.; SALETES, S. 2001. Dynamics of nutrient release from empty fruit bunches in field conditions and soil characteristics changes. PORIM International Palm Oil Congress. 20-23 August 2001. Kuala Lumpur, Malasia.
- CALIMAN, J.P.; WIDODO, T.; SUYANTO, S.; TAILLIEZ, B. 2002. Importance of palm growth during immaturity and impact on yield at an early stage. 2002 International Oil Palm Conference. 8-12 July 2002. Bali, Indonesia.
- CIRAD. 2001. Oil palm empty fruit bunches: back to earth. Plantations, recherche, développement, January 2001, p.79-82.
- ENINGPRAJA, L.; BUANA, L.; SATYOSO, H.; POELO-ENGAN. 1995. Pengaruh pemupukan pada masa TBM terhadap produksi dan pertumbuhan vegetatif kelapa sawit pada tanah ultisol. Internal Report-PPKS, Indonesia, 20p.
- FAIRHURST, T.F.; GFROERER-KERSTAN, A.; RANKINE, I.R.; KURUVILLA, K.J. 2000. Use of Geographical Information Systems in Plantation Agriculture: Linking Digital Maps to Agronomic Database Sets. In: Pushparajah, E. (ed.) International Planters Conference 2000. Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur, Malasia, 17-20 May 2000, p.755-767.
- FOSTER, H.L. 1993. Experience with fertiliser recommendations system for oil palm. In: Proc. 1993 PORIM Int. Palm Oil Congress (Jalani, S. *et al.*, eds). Kuala Lumpur: Palm Oil Research Institute of Malaysia, p.313-328.
- GNAYORO, G.E. 1992. Contribution à la caractérisation nutritionnelle de clones de palmier à huile: cas de la nutrition potassique. Mémoire de DAA, ENSA (Yamoussoukro), 46p.
- GROS, A. 1979. Engrais. Ed. La Maison Rustique. 7^{eme} édition. Paris, 382 p.
- GUNN, J.S. 1962. The economics of manuring oil palm. Journal Western African Institute Oil Palm Research, no.3, p.302.
- GURMIT, S. 1982. Micronutrient studies on oil palm on peat. Perak Planters' Association Journal. p.69-83.
- HARTLEY, C.W.S. 1988. The oil palm. Third edition. Longman Scientific & Technical. Longman Group Limited, London-New York, 761p.
- HORNUS, P.H.; NGUIMJEU, E. 1992. Use of empty bunches for fertilisation in oil palm plantations. Oleagineux, v.47, no.5, p.245-254.
- IRHO-CIRAD. 1992. Activity Report 1989-1981. Oléagineux, v.47, no.6, 456p.
- JACQUEMARD, J.C.; TAILLIEZ, B.; DADANG, K.; OUVRIER, M.; ASMADY, H. 2002. Oil palm Nutrition: planting material effect. 2002 International Oil Palm Conference. 8-12 July 2002. Bali, Indonesia.
- LIM KIM CHIEW; CHEN KOOK WENG. 1989. Toward Optimizing Empty fruit bunch application in oil palm. Proceeding of O.P./P.O Conference, p.235-242.
- LO, K.K.; GOH, K.H. 1973. The analysis of experiments on the economics of fertiliser application in oil palm. In Advances in Oil Palm Cultivation (ed. R.L. Wastie & D.A. Earp), p.338-359. Kuala Lumpur: Incorporated Society of Planters.
- LOONG, S.G.; NAZEEB, M.; LETCHOMANAAN, A. 1987. Optimizing the use of EFB mulch on oil palms on two different soils. Proceeding of O.P./P.O Conference, p.605-639.
- NG, S.K. 1972. The oil palm, its culture, manuring and utilisation. Berne: International Potash Institute, 142p.
- NG, S.K.; TAN Y.P. 1974. Nutritional complexes of oil palm planted on peat soil in Malaysia. Foliar symptoms, nutrient composition and yield. Oleagineux, no.29, p.1-14.
- NG, S.K. 1970. Le rôle de la fertilisation dans l'amélioration de la productivité du palmier à huile (*Elaeis Guineensis* Jacq.). Oléagineux, no.25, p.637-648.
- NG, S.K., THAMBOO, S. 1967. Nutrient content of oil palm in Malaysia. I. Nutrients required for reproduction: Fruit bunches and male inflorescences. Malasia. Agriculture Journal, no.46, p.3-45.
- NGUYEN, H.; LUKMAN, F.; CALIMAN, J.P.; FLORI, A. 1993. SPOT image as a visual tool to assess sanitary, nutrient and general status of estate oil palm plantation. In: 1993 PIPOC PORIM International Palm Oil Congress: agriculture, update and vision, 20-25 Sept., Kuala Lumpur.
- OCHS, R. 1985. Strategy for implementing tree crop nutrient control. Mineral nutrition management. Manure application programming. Oléagineux. v.40, no.12, p.583-594.

- OCHS, R.; OLLAGNIER, M. 1977. Effect of fertilisers on the composition of the lipids produced by perennial tropical oil plants and on their yield. *Oléagineux*, v.32, no.10, p.409-426.
- OIL WORLD. 1999. Oil World 2020. Supply, Demand and Prices from 1976 through 2020. Ed. Siegfried & Thomas Mielke. Hamburgo, Alemania.
- PACHECO, A.R.; BARNWELL, M.; TAILLIEZ, B. 1986. Cases of copper deficiency in oil palm nurseries of Brazilian Amazonia. *Oléagineux*, v.41, no.11, p.483-489.
- PIGGOT, C.J. 1968. The manuring of oil palm. In: *Oil Palm Developments in Malaysia* (ed. P.D. Turner), pp 92-105. Kuala Lumpur: Incorporated Society of Planters.
- TAMPUBOLON, F.H.; DANIEL, C.; OCHS, R. 1990. Oil palm responses to nitrogen and phosphate fertiliser in Sumatra. *Oléagineux*, v.45, p.475-486.
- WANASURIA, S.; FATHONI, A; BUDIONO, R.; MAYUN, I.B.; HERU SETYOBUDI. 1996. Contribution of geographical information system on oil palm plantation management. In: *Papers on ISOPA/IOPRI seminar: Agronomic update in oil palm management*. ISOPA & IOPRI, Pekanbaru, p.13-21.