

Metodología de la empresa AAR para la determinación de requerimientos de fertilizantes de palma de aceite

Applied Agriecological Research (AAR) Approach to Drawing Up Fertiliser Requirements for the Oil Palm



Teo Chor Boo, BSc

Investigador Principal del Applied Agriculture Resources, AAR
teocb@AARsb.com.my

K.J. Goh

P.H.C. Ng

K.K. Kee

Advanced Agriecological Research Sdn. Bhd., No. 11
Jalan Teknologi 3/6, Taman Sains Selangor 1, Kota Damansara, 47810 Petaling Jaya, Selangor, Malasia
AARsb@AARsb.com.my

Palabras CLAVE

Fertilizantes, balance de nutrientes, modelo INFERS, modelo ASYP, rendimiento en sitio.

Fertiliser recommendations, Nutrient balance, INFERS, ASYP

Traducido por Fedepalma

Versión original en inglés en el Centro de Información de Fedepalma



Resumen

En Malasia, solo los fertilizantes constituyen más del 30% del total de los costos de producción de la palma de aceite. Teniendo en cuenta la escalada de precios de los fertilizantes, los cultivadores y los agrónomos deben trabajar conjuntamente para reducir los costos de producción y obtener el máximo rendimiento en cualquier sitio. La práctica convencional de aplicar altas tasas de fertilizantes para asegurar la suficiencia y actuar como una red de seguridad puede no ser defendible ahora, a pesar de los precios relativamente altos de la palma de aceite.

Es esencial que los agrónomos utilicen un sistema de recomendación de fertilizantes científico y objetivo que sea capaz de calcular las tasas óptimas de fertilizante que sean repetibles para las mismas condiciones y que no varíen sustancialmente entre ellas.

Este trabajo describe brevemente el enfoque de AAR para determinar los requerimientos de fertilizantes de la palma de aceite. En esencia, el enfoque del Balance de Nutrientes es utilizado por muchos agrónomos como primera aproximación para determinar el requerimiento de nutrientes de la palma. Pero en AAR, este enfoque ha sido modificado en un modelo dinámico usando el modelo de requerimiento de nutrientes y crecimiento de la palma de aceite de propiedad de AAR, llamado Sistema Integrado de Recomendaciones de Fertilizantes (Infers, por su sigla en inglés), el cual

calcula la demanda de crecimiento y de deficiencia. Los principios fundamentales del modelo INFERS consta de cuatro componentes – rendimiento de RFF, crecimiento (tamaño de la palma), concentración de nutrientes en las palmas (generalmente se utiliza como indicador la concentración de nutrientes en la hoja y raquis, en la Hoja 17 y concentración de nutrientes en el suelo. Todos estos componentes deben estar en niveles óptimos para obtener el máximo rendimiento. Para cada sitio, se establecerá un rendimiento objetivo, el cual se obtiene utilizando otro modelo de AAR llamado ASYP (modelo de potencial de rendimiento en el sitio). Este es un modelo empírico que se desarrolló para predecir el rendimiento máximo alcanzable para cualquier ambiente dado de características del sitio. El modelo INFERS calculará los requerimientos de fertilizantes con base en el potencial de productividad del sitio. En cada sitio donde se aplica abono se pueden tomar muestras de suelo y de hojas y mediciones de crecimiento vegetativo adicionales para hacer ajustes posteriores a las tasas de fertilizantes.

Los agrónomos de AAR realizarán visitas de campo para verificar el sitio (suelo, terreno), evaluar el estado nutricional de las palmas y las prácticas de manejo agrícolas antes de ultimar las tasas de fertilizantes.

Uno de los mayores retos, que también se discutirá en este trabajo, es el de mejorar la eficiencia de los fertilizantes.

Abstract

In Malaysia, fertilisers alone constitute more than 30% of the total production cost of oil palm. With the escalating fertiliser prices, planters and agronomists must work together towards reducing the production cost and obtain maximum yield at any one site. The conventional practice of applying high fertiliser rates to ensure sufficiency and act as a safety net may not be tenable now despite the current relatively high oil 2palm prices. Thus, it is essential that agronomists use an objective and scientific fertiliser recommendation system which is capable of computing the optimal fertiliser rates that are repeatable for the same conditions and do not vary substantially between them.

This paper briefly describes AAR approach in determining the oil fertiliser requirements. In essence, the dynamic nutrient balance approach called Infers (Integrated Fertiliser Recommendations System) is used to compute the fertilizer requirements of oil palms based on six major components – FFB yield, growth (palm size), nutrient concentration in the palms (usually the leaf and rachis nutrient concentration in Frond 17 is used and an indicator), soil nutrient concentration, environmental losses and nutrient cycling within palm and between palm and soils. For each site, the targeted growth, FFB yield and palm nutritional status will be set. Another model called the ASYP model (AAR Site Yield Potential model) which is an empirical model is used to predict the maximum FFB yield realisable for any given environment of site characteristics. Additional leaf and soil sampling and leaf and soil sampling may be taken from each manuring site for further adjustments of the fertiliser rates.

AAR agronomists will make field visits to verify the site characteristics (soil, terrain), assess the palm nutritional status and agro-management practices that may affect growth, yield and fertilizer use efficiency before finalising the fertiliser rates. One of the major challenges is in improving the fertiliser use.





Introducción

La palma de aceite es sin duda el cultivo oleaginoso más productivo del mundo. En muchos países donde actualmente se cultiva, también se han documentado sus impactos significativos sobre la rentabilidad socioeconómica para las poblaciones locales y nacionales. Por tanto, a pesar de sus muchas críticas, la rápida expansión de la palma de aceite en la región tropical alrededor del mundo va a continuar sin cesar. Esto deberá garantizar el suministro de aceites vegetales relativamente baratos para satisfacer o incluso superar la demanda mundial, la cual está impulsada por el continuo aumento de la población. De hecho, la población mundial excede los 6.500 millones de habitantes y sigue acelerándose a un ritmo enorme de 73 millones por año (Goh *et al.*, 2011). A este ritmo de crecimiento, la población mundial proyectada será de aproximadamente 9.200 millones.

Por tanto, es fundamental mantener la alta productividad de la palma de aceite que vendrá con un precio: la gran demanda de nutrientes. Junto con el hecho de que se cultiva principalmente en tierras erosionadas y degradadas, las respuestas de rendimiento de los racimos de fruta fresca (RFF) de palma de aceite a las aplicaciones de fertilizantes suelen ser enormes y por lo general exceden el 100%. Esto ha sido bien demostrado en numerosos ensayos de respuesta a fertilizantes desde 1929 en Malasia (Belgrave, 1937). Estos experimentos sirven como base principal para el desarrollo de un sistema de recomendación de fertilizantes sólido y científico para palma de aceite.

El costo de las aplicaciones de fertilizantes sigue siendo el costo directo más alto en las plantaciones de palma de aceite desde la década de 1970. Hoy en día, constituye de 30 a 40% del costo de producción de aceite de palma, lo que hace que el manejo eficaz y efectivo de los fertilizantes sea una absoluta necesidad para las plantaciones (Goh *et al.*, 2011). También, uno de los mejores métodos para reducir el costo de producción es sostener el máximo rendimiento en cualquier sitio. Esto último solo es posible con palmas nutricionalmente sa-

nas. La importancia de alcanzar el rendimiento máximo en la plantación es debido a los altos costos indirectos en el manejo de la palma de aceite que hacen que el rendimiento económicamente óptimo se acerque al rendimiento máximo (Goh *et al.*, 1999). Además, el rendimiento máximo no está influenciado por los vaivenes de los precios de los productos básicos.

En este trabajo se describe el sistema de recomendación de fertilizantes desarrollado y adoptado por la empresa Applied Agricultural Resources Sdn. Bhd. (AAR). Se han escrito muchos artículos para destacar la importancia de los fertilizantes para la palma de aceite y los diversos métodos para calcular sus requerimientos de fertilizantes. Sin embargo, en este artículo se combinan los materiales pertinentes de tres de los trabajos anteriores sobre la misma materia, a saber, Goh *et al.* (1999), Goh (2005) y Goh *et al.* (2011). En ocasiones, estos tres documentos fueron citados textualmente ya que la mayoría de sus datos y declaraciones siguen siendo pertinentes hoy.

Multiobjetivos en el manejo de fertilizantes de palma de aceite

La premisa principal es que las palmas sanas produzcan un rendimiento óptimo de RFF, que es el principal producto básico de la mayoría de las plantaciones. Por tanto, los objetivos generales del manejo de fertilizantes son maximizar el crecimiento y la producción de palma de aceite y, al mismo tiempo, minimizar las aplicaciones de fertilizantes. Estos son, de hecho, los principios básicos del manejo de plantaciones, ya que permiten obtener el mayor ingreso al menor costo posible para garantizar el mejor beneficio de las aplicaciones de fertilizantes.

Los objetivos específicos del manejo de fertilizantes de palma de aceite (Goh *et al.*, 1999) se presentan a continuación:

- a. Suministrar a las palmas la cantidad suficiente de nutrientes en proporciones balanceadas para garantizar un crecimiento vegetativo sano y óptimos rendimientos económicos de RFF.

- b. Aplicar los fertilizantes en la forma prescrita sobre las zonas de la plantación que resulten en la absorción de nutrientes más eficiente.
- c. Integrar el uso de fertilizantes minerales y residuos de palma.
- d. Minimizar los impactos ambientales negativos relacionados con la sobrefertilización, la degradación de tierras, y la contaminación por metales pesados como el cobalto y el eutrofismo por la aplicación de P.

Estos multiobjetivos exigen que los sistemas de recomendación de fertilizantes para palma de aceite impliquen algo más que el cálculo de las dosis óptimas de fertilizantes. Los otros componentes principales del sistema son el manejo de fertilizantes que incluyen el momento, lugar y métodos adecuados de aplicación del fertilizante, la fuente adecuada del fertilizante, la recomendación de las condiciones óptimas de cultivo para que la palma de aceite maximice la absorción de nutrientes, y el monitoreo de los objetivos de crecimiento, nutrición y rendimiento.

Sin embargo, en los actuales escenarios de escasez de personal y trabajadores calificados y confiables, alta rotación de la fuerza de trabajo, altos precios de los fertilizantes y los temas ambientales planteados por las organizaciones no gubernamentales (ONG), el logro de los objetivos antes mencionados constituye un reto hoy en día. En lugar de cuestionar las normas de trabajo para facilitar el manejo, que pueden negar el valor de un buen manejo de fertilizantes que conducen a una menor ganancia, se debe tener un claro entendimiento de las diversas cantidades óptimas intrínsecas en el manejo de nutrientes del cultivo (Goh *et al.*, 2011) e implementar decisiones y prácticas que los optimice. En el proceso, se debe ser capaces de superar las dificultades y alcanzar los objetivos del manejo de fertilizantes de palma de aceite.

Así pues, las recomendaciones de fertilizantes que se observan en las plantaciones, que con frecuencia parecen darse por sentado, requieren de un buen entendimiento de los principios generales que gobiernan la nutrición mineral de la palma de aceite (Corley y

Tinker, 2003) y los métodos para maximizar la eficiencia en el uso de los fertilizantes (Goh *et al.*, 1999). Aquí no se discutirán los principios generales de la nutrición de las plantas. En su lugar, el presente trabajo se centra en el principio del sistema de recomendación de fertilizantes, esto es el sistema y el cálculo para derivar las dosis óptimas de fertilizantes.

Flujo de trabajo para evaluar los requerimientos de fertilizantes de palma de aceite

Los requerimientos de fertilizantes de palma de aceite dependen de muchos factores interrelacionados que varían de un entorno a otro (Foster, 2003). Aún en ambientes agroecológicos superficialmente similares, las respuestas en rendimiento de la palma de aceite a los fertilizantes pueden variar sustancialmente (Foster, 2003). Por consiguiente, la manera más fácil para determinar los requerimientos de fertilizantes es a partir de ensayos de respuesta a los fertilizantes, pero es difícil y costoso realizarlos en todos los diferentes entornos en los que se cultiva la palma de aceite.

Se han sugerido muchas alternativas y la mayoría de ellas dependen de algunas variables relacionadas con los requerimientos de fertilizantes de la palma de aceite basados en principios sólidos de fertilidad del suelo y nutrición mineral de las plantas. AAR desarrolló y practicó la metodología de balance de nutrientes más holística y dinámica que combina los objetivos, el presupuesto de nutrientes y el ciclo de los mismos en el agroecosistema de la palma de aceite para determinar sus requerimientos de fertilizantes. El flujo de trabajo general es el siguiente:

- a. Determinar los objetivos de crecimiento y rendimiento.
- b. Evaluar los requerimientos de nutrientes para lograr lo anterior y evitar la manifestación de deficiencia de nutrientes.
- c. Evaluar el nivel de manejo y los recursos de la plantación.
- d. Determinar los fertilizantes y aplicaciones más eficaces y rentables para satisfacer los requerimientos de nutrientes.



- e. Calcular los aspectos económicos de las recomendaciones y los resultados esperados.
- f. Monitorear los resultados, incluida la rentabilidad económica.
- g. Decidir sobre nuevas acciones requeridas y repetir los pasos si es necesario.

Goh *et al.* (1999) y Goh (2005) proporcionan la descripción detallada de los pasos principales en el anterior flujo de trabajo. En la siguiente sección de este trabajo se reproduce, a partir de Goh (2005), el cálculo paso tras paso de los requerimientos de fertilizantes de la palma de aceite, en forma detallada.

Metodología dinámica del balance de nutrientes

La mayoría de los métodos para estimar las dosis de fertilizantes para palma de aceite son empíricos por naturaleza, y por tanto, deben utilizarse dentro de los mismos ambientes en los que se han desarrollado. Esta limitación se supera en gran medida al incluir el ciclo de nutrientes dentro del agroecosistema, esto es dentro de las palmas, los suelos, y entre las palmas y los suelos sobre la base de los principios de la nutrición de las plantas y la fertilidad del suelo.

La metodología dinámica del balance de nutrientes desarrollada por AAR, llamada In-fers, específicamente trata de equilibrar la demanda de nutrientes con la oferta. En el agroecosistema de la palma de aceite, los componentes de la demanda de nutrientes son: la absorción de nutrientes por las plantas para el crecimiento y la producción, las pérdidas de nutrientes a través de los procesos del suelo como la escorrentía y la lixiviación (pérdidas ambientales) y la inmovilización de nutrientes (Figura 1).

Los componentes de la oferta de nutrientes son: la precipitación, las hojas podadas y los subproductos aplicados como los racimos de fruta fresca. Cualquier déficit entre la oferta y la demanda de nutrientes es satisfecho con la aplicación de fertilizantes. Ng (1977) consideró que las principales variables en la hoja de balance de nutrientes eran el suministro de nutrientes del suelo a la palma de aceite y la demanda de nutrientes de la planta.

La demanda de nutrientes de las plantas es la necesidad de los elementos esenciales por parte de una planta en crecimiento (Corley y Tinker, 2003). Esta puede separarse en dos procesos: demanda para crecimiento y demanda por deficiencia (Tinker y Nye, 2000). La teoría subyacente de estas dos "demandas" se cita textualmente de Corley y Tinker (2003), como sigue:

Cantidad (contenido) de nutrientes en la palma, N = XW y tasa de absorción =

$$\frac{d(N)}{dt} = \frac{X dW}{dt} + \frac{dX}{dt} ,$$

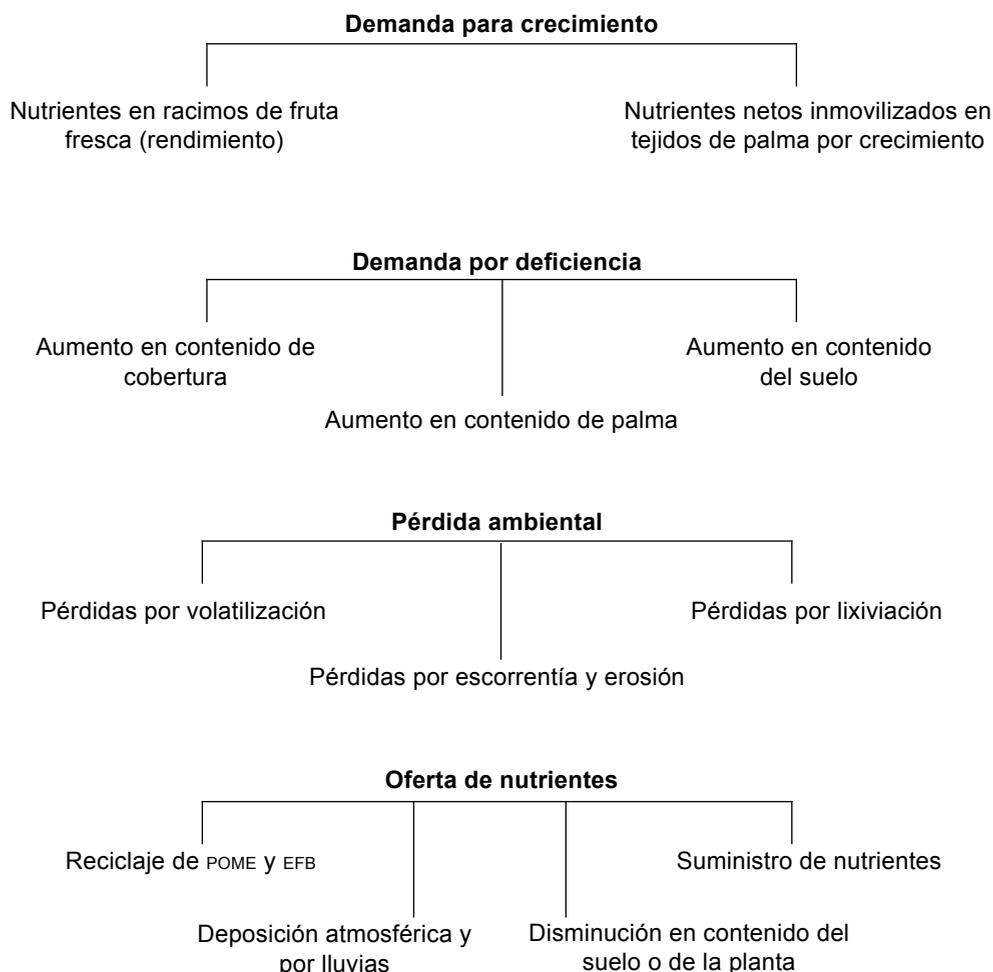
donde N es el nutriente total en la palma, W es la masa, X es el contenido fraccionado del nutriente y t es el tiempo. El primer término en la tasa de absorción representa la demanda para crecimiento debido a que el porcentaje de nutriente permanece constante a medida que la planta crece a una tasa $\frac{dW}{dt}$.

Sin embargo, durante la corrección de una deficiencia de nutrientes, el segundo término aplica, ya que el peso es una constante con diferente concentración de nutriente. De hecho, ambos procesos probablemente ocurren al mismo tiempo. Sin los diferenciales e ignorando los cambios en la estructura del material vegetal, una aproximación sencilla para la absorción es:

$$\begin{aligned} X_2 (W_2 - W_1) + W_1 (X_2 - X_1) = \\ X_1 (W_2 - W_1) + W_2 (X_2 - X_1) = \\ X_2 W_2 - X_1 W_1 \end{aligned}$$

para los tiempos t_1 y t_2 y el significado de los términos permanece igual.

Los principales componentes de la demanda para crecimiento en palma de aceite son los nutrientes inmovilizados en los tejidos de las palmas por el crecimiento y los nutrientes exportados en los RFF. Los principales componentes de la demanda por deficiencia son el aumento en el contenido de nutrientes de la palma para corregir la deficiencia de nutrientes y el aumento en los nutrientes del suelo. Cambiar



Notas:

Adaptado de Corley y Tinker.

POME (por su sigla en inglés), denota los efluentes de las plantas de beneficio mientras que EFB (por su sigla en inglés), denota los racimos vacíos de fruta.

Figura 1. Ciclos de nutrientes para el nitrógeno en plantaciones de palma de aceite.

el estado actual en estos cuatro componentes al nivel óptimo y mantener el estado óptimo son los principios fundamentales del modelo Infers. Es decir, estos cuatro componentes, el rendimiento de RFF, el crecimiento (tamaño de la palma), la concentración de nutrientes en las palmas (por lo general se utiliza como indicador la concentración de nutrientes en la hoja 17) y la concentración de nutrientes en el suelo, constituyen los objetivos de Infers. Puesto que estos objetivos difieren según la edad de las palmas, el medio ambiente y la situación económica, los requerimientos de nutrientes de las palmas también variarán. Junto con la diferente eficiencia en el uso de fertilizantes,

las dosis de fertilizantes requeridas para cada lote se modificarán en consecuencia. De hecho, esta es la esencia de las recomendaciones de fertilizantes de sitio específico.

A continuación se proporciona una breve descripción del módulo Infers para el cálculo de las dosis de fertilizantes con N como ejemplo. La estructura detallada de Infers la proporcionan Kee *et al.* (1994) y Corley y Tinker (2003), mientras que la investigación que sustenta el modelo ha sido bien descrita por Corley y Tinker (2003).

Dado que Infers se basa en el principio de la demanda de la planta y la oferta de nutrientes, los cuatro objetivos que se deben lograr o

**Tabla 1.** Clasificación del estado nutricional del suelo para palma de aceite.

Nutriente	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
pH	< 3,5	3,5-4,0	4,0-4,2	4,2-5,5	> 5,5
C orgánico (%)	< 0,8	0,8-1,2	1,2-1,5	1,5-2,5	> 2,5
N total (%)	< 0,08	0,08-0,12	0,12-0,15	0,15-0,25	> 0,25
P total (µg g ⁻¹)	< 150	150-250	250-350	350-500	> 500
P disponible (µg g ⁻¹)	< 10	10-25	25-40	40-60	> 60
K intercambiable (cmol kg ⁻¹)	< 0,08	0,08-0,20	0,20-0,25	0,25-0,30	> 0,30
Mg intercambiable (cmol kg ⁻¹)	< 0,08	0,08-0,20	0,20-0,25	0,25-0,30	> 0,30
CIC (cmol kg ⁻¹)	< 6	6-12	12-15	15-18	> 18

Fuente: Tomado de Goh y Chew (1997) con modificaciones para P disponible y total.

CIC: capacidad de intercambio catiónico.

mantener deben fijarse correctamente. El primer objetivo por lo general se basa en el potencial de rendimiento en el sitio, mediante el modelo llamado ASYP (Kee *et al.*, 1999). La tasa de crecimiento se basa en el creciente peso seco de la hoja 17, como se determina por su dimensión (Corley *et al.*, 1971) con la edad de la palma.

Conviene señalar que la tasa de crecimiento de la palma de aceite y el máximo peso seco de las hojas depende del entorno. Esta información, proveniente de muchos experimentos realizados con palma de aceite en Malasia, está libremente disponible. El objetivo para la concentración foliar de nutrientes en la hoja 17 puede basarse en niveles críticos de nutrientes únicos para diferentes entornos y edades de las palmas o el método de cationes foliares totales (CFT) como se describió anteriormente.

Puesto que se utilizan cuatro objetivos en el modelo, las dosis de fertilizantes calculadas son menos sensibles a los cambios en la concentración foliar de nutrientes en comparación con los métodos anteriores que se han expuesto. El objetivo para los contenidos de nutrientes en el suelo depende de la tabla de clasificación de nutrientes del suelo (Tabla 1) o de las preferencias del usuario para la acumulación, mante-

nimiento o agotamiento de nutrientes, aunque Infers en principio no pretende disminuir los nutrientes del suelo.

La principal demanda de nutrientes en el agroecosistema de la palma de aceite es probablemente por la palma. Esta demanda de nutrientes puede separarse en cuatro componentes: dosel, tronco, raíz y RFF. Las ecuaciones para calcular la demanda de N de la palma se muestran a continuación. Las cifras en subíndice, 1 y 2, indican el tiempo 1 (estado actual) y el tiempo 2 (un año después).

1. Demanda de nutrientes del dosel

Demanda de N para crecimiento del dosel (g N/palma) = $0,155 \times (\text{N en los foliolos } (\%)_1)$ (peso seco en la Hoja 17 (g)₂ – peso seco en la Hoja 17 (g)₁)

Demanda por deficiencia de N del dosel (g N/palma) = $(0,155 \times (\text{peso seco en la Hoja 17 (g)}_2) - 236,817) \times (\text{N en los foliolos } (\%)_2 - \text{N en los foliolos } (\%)_1)$,

donde el peso seco de la hoja 17 se mide con el método no destructivo de Corley *et al.* (1971) y el N de los foliolos se obtiene del análisis foliar de nutrientes estándar adoptado

por la industria de la palma de aceite de Malasia (Foster, 2003).

2. Demanda de nutrientes del tronco

Demanda de N para crecimiento del tronco (g N/palma) = $0,01 \times \text{concentración de N en el tronco } (\%)_1 (\text{peso seco del tronco } (g)_2 - \text{peso seco del tronco } (g)_1)$

Demanda por deficiencia de N en el tronco (g N/palma) = $0,01 \times \text{peso seco del tronco } (g)_2 (\text{concentración de N en el tronco } (\%)_2 - \text{concentración de N en el tronco } (\%)_1)$

La concentración de N (%) en el tronco se estima mediante el modelo lineal-plateau, como sigue:

- Concentración de N en el tronco (%) = $1,369 - 0,117 (\text{edad (años)})$ para palmas $\leq 8,5$ años de edad
- Concentración de N en el tronco (%) = $0,351$ para palmas $> 8,5$ años de edad

El peso seco del tronco se estima mediante las ecuaciones propuestas por Corley y Bruere (1981), como sigue:

- Volumen del tronco (cm^3) = $\pi \times d^2 \times h / 4$
donde d = diámetro del tronco (cm), por lo general se mide a 1m del suelo.
 h = altura del tronco (cm), por lo general se mide a la hoja 41.
- Densidad del tronco (g/cm^3) = $0,083 + 0,0076 (\text{edad (años)})$.
- Peso seco del tronco (g) = volumen del tronco \times densidad del tronco.

Las anteriores ecuaciones indican que para las palmas con más de 8,5 años edad, puede usarse un valor constante para la demanda para crecimiento del tronco ya que el incremento en altura, en diámetro y la concentración de N en el tronco son constantes, y el aumento en densidad del tronco es relativamente pequeño. Además, no hay demanda por deficiencia debido a la concentración constante de N en el tronco.

3. Demanda de nutrientes de las raíces

La concentración de N en las raíces de la palma de aceite es relativamente constante en

todas las edades de la palma y tipos de suelos en aproximadamente 0,39%. Por tanto, se supone que las raíces de la palma de aceite no tienen demanda por deficiencia.

La demanda para crecimiento de las raíces de palma de aceite se calcula mediante una ecuación empírica basada en la relación raíz:brote, como sigue:

$$\text{Relación raíz:brote} = 1,92 (\text{edad de la palma (años)})^{-1,11}$$

La diferencia en los pesos de las raíces entre el año 1 y el año 2 se multiplica por la concentración constante de N de las raíces para dar la demanda de N de las raíces. Conviene señalar que la anterior ecuación para calcular el peso de las raíces se basa en palmas con nutrición relativamente buena. Es sabido que la relación raíz:brote tiende a ser mayor para palmas con estado nutricional deficiente.

4. Demanda de nutrientes de los RFF

En la actualidad, se supone que la concentración de N de los RFF no está afectada por la edad o la nutrición de la palma, y permanece constante a 3,195 g N por kg de RFF. Por tanto, solamente hay demanda para crecimiento por la producción de RFF, como sigue:

$$\text{Demanda de N para crecimiento de los RFF} = \text{RFF } (kg)_2 \times 3,195$$

Por lo general, la demanda de nutrientes del suelo implica dos procesos en el suelo: la acumulación y las pérdidas de nutrientes. La acumulación de nutrientes en el suelo puede ser necesaria si el estado nutricional del suelo es bajo o cuando el coeficiente de actividad del suelo indica un desbalance nutricional, como se expuso anteriormente. Las pérdidas de nutrientes en el suelo en el agroecosistema de la palma de aceite surgen principalmente de la erosión, la escorrentía y la lixiviación. Corley y Tinker (2003) consideran estas pérdidas como pérdidas ambientales o demanda ambiental.

Las pérdidas por erosión y escorrentía pueden estimarse mediante el modelo sugerido por Morgan *et al.* (1984) y las pérdidas por



lixiviación mediante el modelo de Burns (Burns, 1974). Aunque estos submodelos están incorporados en el modelo Infers, ellos requieren muchas variables y parámetros de estado, y por tanto, están fuera del alcance de este trabajo.

En general, las pérdidas de N en el suelo a través de los procesos anteriores no deben exceder el 10% si el fertilizante se aplica de modo adecuado y oportunamente. Las pérdidas de N por volatilización de urea o de fertilizantes a base de urea pueden considerarse como parte de la demanda de N del suelo pero generalmente se tienen en cuenta después de calcular la dosis final de fertilizantes suponiendo que no hay pérdidas inicialmente. Es decir, si se espera que las pérdidas por volatilización sean de aproximadamente el 30%, entonces la dosis final de fertilizante nitrogenado (N) se ajusta un 30% hacia arriba.

El principal suministro de nutrientes en el agroecosistema de la palma de aceite se muestra en la Figura 1. Infers supone que el suministro de nutrientes de la deposición atmosférica y por las lluvias es pequeño y no se espera ninguna disminución en el contenido de nutrientes en las plantas y en suelo a menos que se haga a propósito. Por ejemplo, a veces es necesario agotar, por así decir el Ca y el Mg intercambiables en el suelo que pueden estar muy elevados y causar una absorción deficiente de K como en los suelos ultrabásicos o las palmas en suelos de turba tienen muy alto N y muy bajo K, mediante la adecuada retirada del fertilizante. De igual modo, el valor residual de aplicaciones grandes de roca fosfórica y caliza magnesiana triturada puede ser la demanda de hasta tres años y estos nutrientes pueden probablemente omitirse en tales casos (Corley y Tinker, 2003). El suministro de nutrientes de subproductos como los racimos vacíos de fruta y los efluentes de las plantas de beneficio (POME) es bien conocido y puede ser fácilmente explicable.

Los cálculos del balance de nutrientes están sujetos a errores, como en todos los modelos matemáticos y estadísticos, y dependen de objetivos razonables o alcanzables. Por tanto, para evitar la sobrefertilización, Infers ha fijado

una tasa máxima de absorción de N de 1180 g por palma por año, que se calcula en buenas condiciones ambientales.

La conversión del requerimiento de nutrientes de palma de aceite a equivalente de fertilizante depende de la eficiencia esperada del fertilizante en el sitio. Dado que la eficiencia del fertilizante varía entre los sitios, es ideal que los ensayos de respuesta a los fertilizantes en tipos de suelo similares estén disponibles en la vecindad.

En general, la eficiencia del fertilizante N en Malasia varía de 30-70%. Este amplio rango en la eficiencia del fertilizante se debe a los muy diferentes ambientes donde se calculó, por ejemplo arcillas fértiles costeras a suelos infértiles de la serie Malaca. En realidad, la eficiencia promedio del fertilizante en un periodo de tres años o más dentro de un sitio es relativamente similar. Por tanto, la eficiencia del fertilizante en un sitio puede estimarse a partir de su historia y tasa de absorción de nutrientes en el pasado como primera aproximación, como se describe paso a paso a continuación:

1. La Figura 2 muestra una curva de respuesta hipotética de la absorción de nutrientes a la aplicación de fertilizante. Por lo general, sigue una ecuación de Mitscherlich modificada o un modelo lineal-plateau. En condiciones ideales, debemos conocer tres puntos: Punto A: la absorción de nutrientes sin aplicación de fertilizante, esto es el suministro de nutrientes del suelo. Punto C: la absorción selectiva de nutrientes a la dosis correcta de fertilizante. Punto B: el promedio de absorción de nutrientes de los dos o tres últimos años a las dosis aplicadas de fertilizantes. El Punto A y el C son por lo general desconocidos a partir de datos históricos pasados aunque el punto A puede estimarse mediante el sistema basado en el suelo de Foster como se expuso anteriormente. Sin embargo, el punto B y la línea de absorción selectiva de nutrientes son conocidos.
2. El punto B puede calcularse con base en el modelo descrito anteriormente a partir del rendimiento real, el peso seco y la concentración de nutrientes en la hoja 17.

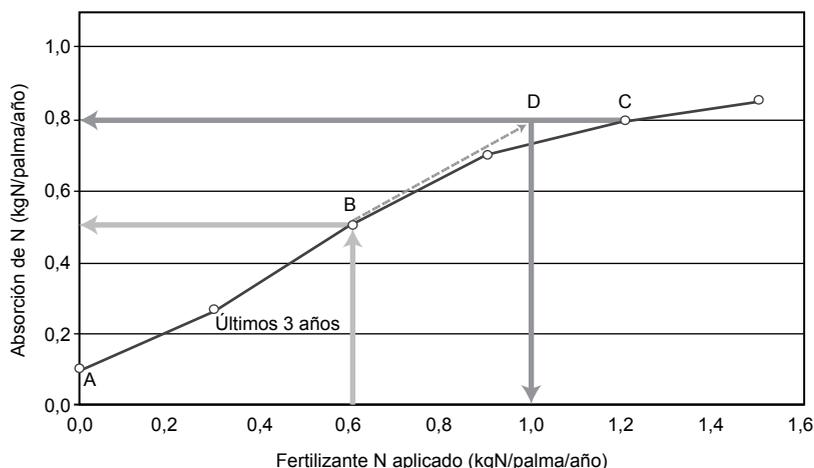


Figura 2. Curva de respuesta hipotética de la absorción del nutriente N a la aplicación de fertilizante N y método para predecir la dosis de fertilizante N para el siguiente año.

3. La absorción selectiva de nutrientes se calcula a partir del rendimiento objetivo (potencial de rendimiento en el sitio), el peso seco y la concentración de nutrientes en la hoja 17 para el sitio.
4. A continuación, se puede trazar una tangente que pase por el punto B a la línea de absorción selectiva de nutrientes. El punto en el que corta (punto D) da la dosis estimada de fertilizante. Esto por lo general subestima el requerimiento de fertilizantes debido a la mayor demanda ambiental (Corley y Tinker, 2003), con dosis de fertilizante en aumento. No hemos abordado plenamente este tema, aunque una dosis de un 10% más alta para N y K parece satisfactoria.
5. Otro problema que no se ha resuelto es el hecho conocido de que la eficiencia en el uso del fertilizante (EU_F) disminuye con una dosis de fertilizante en aumento. Por lo general, sigue un modelo de disminución exponencial. $EU_F = \exp(-kF)$, donde F es la dosis de fertilizante (kg/palma/año) y k es una constante. Esta constante está afectada principalmente por las fuentes del fertilizante y el medio ambiente.
6. Este método evita la necesidad de estimar directamente la eficiencia en el uso de fertilizantes y el suministro de nutrientes del suelo. Sin embargo, depende mucho de un valor inicial razonable (punto B) y de los objetivos para evitar la sobrefertilización.
7. Se puede obtener un punto B razonable si se siguen las seis herramientas disponibles para monitorear la salud de la palma, y los cambios en los nutrientes del suelo y en la eficiencia de uso de los fertilizantes, como se indica a continuación:
 - a. Estado nutricional de las hojas.
 - b. Estado nutricional del suelo.
 - c. Síntomas de deficiencia nutricional.
 - d. Tasa de crecimiento vegetativo y tamaños del dosel (clasificación).
 - e. Rendimiento (potencial de rendimiento en el sitio).
 - f. Eficiencia del fertilizante.
 A continuación se presenta un ejemplo que muestra el cálculo de la dosis de fertilizante N (kg AC/palma/año) mediante el modelo *Infers* para el escenario bajo de N según se indica en las ilustraciones anteriores de los sistemas de recomendación de fertilizantes. En la Tabla 2 se muestran las variables requeridas calculadas en 1993 y 1994 y los objetivos para 1995, y la absorción de nutrientes y la dosis de fertilizante calculada se muestran en la Tabla 3. Para simplificar, se supone que el estado de N en el suelo es satisfactorio y, por tanto, la demanda de N del suelo es igual a cero.

El ejemplo anterior muestra que *Infers* puede dar cuenta de las demandas para el crecimiento y por deficiencia de manera explícita. También evita los problemas del efecto de dilución o concentración de los nutrientes fo-



Tabla 2. Mediciones realizadas en palma de aceite sembrada en 1979 en suelo de la Familia Batang (laterítico) para demostrar el modelo Infers.

Variables	1993	1994	1995 (objetivo)
N en hojas (%)	2,48	2,53	2,65
Peso seco de hojas (g)	4,30	4,44	4,80
Rendimiento de RFF (kg/palma/año)	239	197	250
Circunferencia promedio de la palma (cm)	202	202	202
Incremento promedio en altura (cm)	51	51	51
Dosis de fertilizante N (kg AC/palma/año)	2	2	-

Tabla 3. Absorción de N y dosis de fertilizante N calculadas a partir de las variables en la Tabla 2 mediante el modelo Infers.

Componente	Historia pasada (1994 – 1993)	Objetivo (1995)
Absorción de N (g N/palma/año)	883	1.195 ¹
Aplicación de N (g N/palma/año)	500	-
Absorción de N/Aplicación de N	1,77	1,77
Dosis de fertilizante N (kg AC/palma/año)	2	2,67
Pérdidas ambientales de N (%)	-	10
Dosis de N final (kg AC/palma/año)	2	2,94

1. Se utiliza la dosis máxima de absorción de N de 1.180 g N/palma/año ya que el objetivo la excede.

liares debido a los cambios en los tamaños del dosel. La dosis relativamente baja de fertilizante N en el presente ejemplo se debe a la oferta relativamente alta de N en el suelo, como demuestran los datos históricos del pasado. En general, una dosis más alta de N se recomienda para dar cuenta de la disminución en la eficiencia del uso del fertilizante con dosis creciente de fertilizante debido a mayores pérdidas ambientales si se emplea el primer método de aproximación como se indicó anteriormente. Esto implica que el modelo tiende a subestimar los requerimientos de fertilizantes de la palma de aceite cuando las dosis iniciales de fertilizantes están muy por

debajo de las óptimas. Sin embargo, el error se hace más pequeño a medida que las dosis recomendadas de fertilizantes se acercan a las dosis óptimas, y por experiencia, los resultados del modelo convergen en un plazo de tres años en el peor escenario.

Como se indicó anteriormente, el modelo Infers requiere de por lo menos tres objetivos, y si estos no están bien fijados, entonces las dosis estimadas de fertilizante serán incorrectas. Por tanto, se requiere que el agrónomo conozca bien los campos, tenga un buen entendimiento de la fisiología y agronomía de la palma de aceite, tenga conocimiento de las prácticas de manejo y recursos disponibles y

tenga la capacidad de determinar la fiabilidad de los datos para hacer el modelo y tomar decisiones, incluido el impacto de la variación espacio-temporal.

Información complementaria para la determinación de las dosis de fertilizantes

Infers, como todos los modelos matemáticos está sujeto a errores en sus cálculos de las dosis de fertilizantes. Por tanto, se requiere de alguna información complementaria para determinar si sus resultados son razonables. A continuación se presentan algunos ejemplos de información complementaria útil para ajustar las dosis de fertilizantes

Teoh y Chew (1988) demostraron que el K en el raquis es más sensible que el K en las hojas para detectar la deficiencia de K en la palma de aceite, especialmente cuando el Ca y Mg intercambiables en el suelo son altos en relación con el K intercambiable en el suelo. La concentración crítica de K en el raquis es de 1,60% si la capa epidérmica exterior del raquis se retira. De otra manera es entre 1,10 y 1,20% (Foster y Probowo, 2002). Estos últimos autores también mostraron que la concentración de P en el raquis refleja mejor el estado del nutriente P de las palmas con un nivel crítico de 0,10%.

Generalmente Infers también supone condiciones satisfactorias de crecimiento para las palmas. Si existen limitaciones que reducen la absorción de nutrientes o incrementan las pérdidas de nutrientes, estas deben tenerse en cuenta para determinar las dosis finales de fertilizantes. Por ejemplo, las buenas coberturas leguminosas han demostrado que reducen los requerimientos de fertilizante N de palma de aceite debido al mejoramiento en las propiedades del suelo y al suministro de N de las leguminosas (Hew y Ng, 1968). Asimismo, si la eficiencia en el uso de fertilizantes calculada es muy baja y el estado nutricional de la palma permanece deficiente a pesar de las dosis de fertilizante relativamente altas, entonces las limitaciones que la causan deben primero identificarse y resolverse ya que el incremento adicional en las dosis de fertilizante puede ser antieconómico.

En la actualidad, la palma de aceite se cultiva en tipos de suelos muy diversos y algunos de ellos pueden requerir atención específica. Algunos ejemplos se dan a continuación:

1. Los suelos de turba (fíbricos a hémicos) pueden producir una descarga grande de nitrógeno a partir del segundo año de la siembra, debido a la mineralización de la turba, y la aplicación de nitrógeno deberá reducirse para evitar el desbalance de N/K (Corley y Tinker, 2003)
2. En los suelos costeros de Malasia Occidental, el Ca y el Mg intercambiables son generalmente altos, y no se necesita adición de Mg (Corley y Tinker, 2003).
3. En los suelos ultrabásicos, la aplicación de fertilizantes ácidos como el sulfato de amonio y el uso de fosfato diamónico como fuente de P y N, parecen beneficiosos a escala comercial, aunque no existen pruebas publicadas para apoyar la práctica.

Las dosis recomendadas de fertilizantes para la palma de aceite deben ser rentables. La estimación de los aspectos económicos de los fertilizantes es simple en principio, pero la naturaleza perenne de la palma de aceite puede causar problemas (Corley y Tinker, 2003). Los fertilizantes suministrados a las palmas jóvenes pueden mejorar su salud y dar un mayor rendimiento hacia el futuro. Hew *et al.* (1973) y Lo y Goh (1973) sugirieron que el costo de los fertilizantes debería ser descontado hacia el futuro, pero los efectos en las respuestas futuras no son suficientemente comprendidos para que esto sea totalmente preciso (Corley y Tinker, 2003).

Estos últimos autores sugieren además, que es aconsejable continuar con una política de fertilizantes durante varios años en lugar de modificarla cada año, en concordancia con los precios del aceite, la almendra y los fertilizantes. No obstante, los aspectos económicos de la aplicación de fertilizantes deben calcularse, y las ecuaciones más simples las proporcionan Corley y Tinker (2003), como sigue:



La ganancia neta de 1 t de RFF es $V_{net} = a + b - c$,

donde a y b son el valor de venta del aceite y almendras de palma, respectivamente, y c son los costos adicionales del manejo de 1 tonelada de RFF y su producto, como en los costos de transporte y procesamiento.

Entonces, Utilidad = $G_{Vnet} - (F + A + H)$,

donde G es la ganancia en rendimiento por hectárea, y F y A son los costos de adquisición y aplicación de los fertilizantes y H son los costos adicionales de cosecha.

Foster (1995) recomendó un margen de utilidad de por lo menos el 20% para asegurar la rentabilidad debido a errores en el cálculo de las dosis de fertilizantes y la gran variación de palma a palma.

Minimización de errores en las recomendaciones de fertilizantes

La interacción de muchos factores y datos para determinar las dosis de fertilizantes para palma de aceite exigen información exacta para obtener recomendaciones precisas. Un factor importante para esto es el tamaño del bloque de fertilización o unidad de manejo. Ha sido bien establecido que el tamaño del bloque de fertilización no debe exceder de 40 ha (Ng y Ratnasingam, 1970). De hecho, con la siembra de palma de aceite en suelos más heterogéneos y el advenimiento de la agricultura de precisión para la palma de aceite, el tamaño del bloque de fertilización debe ser aún menor para obtener recomendaciones de fertilizantes más precisas (Goh *et al.*, 2000).

También es importante que se tome una muestra foliar de cada bloque de fertilización con palmas maduras por lo menos una vez al año para análisis a menos que las palmas estén programadas para renovación. No se deben hacer excepciones, pues los costos y requisitos de mano de obra para coleccionar y analizar las muestras foliares son relativamente pequeños en comparación con el costo de unas reco-

mendaciones de fertilizantes erróneas. El uso de los resultados de análisis foliares anteriores para predecir los resultados de análisis foliares actuales y luego su utilización para estimar las dosis de fertilizantes para el siguiente año, probablemente incurrirá en un gran error, y por lo tanto es inaceptable. De hecho, si la variación estacional en los nutrientes foliares es desconocida en el medio ambiente, entonces se recomienda hacer el muestreo foliar bimensual (o trimestral) de algunos campos representativos con el fin de ajustar las concentraciones foliares de nutrientes Foster, (2003).

También es útil coleccionar muestras de suelo para el análisis de nutrientes por lo menos una vez en cinco años. Esto es para garantizar que el estado nutricional del suelo es satisfactorio para el crecimiento y la producción de palma, y que no se haya producido un agotamiento grave de los nutrientes en el suelo.

Una buena base de datos relacional u orientada a objetos es necesaria para almacenar las entradas y salidas históricas del manejo agrícola en cada bloque de fertilización y la información agronómica, incluidos los resultados del análisis de suelos. Esta información se puede resumir en una hoja para llevarla al campo para una mejor evaluación de las palmas, y la identificación de las limitaciones del rendimiento y los factores que afectan la eficiencia en el uso de fertilizantes (Apéndice 1).

Finalmente, los agrónomos que hacen las recomendaciones de fertilizantes deben comprender claramente los principios básicos de la nutrición del suelo y de las plantas para interpretar los datos y usar los sistemas de recomendación de fertilizantes correctamente, y lo que es más importante, saber qué buscar en los campos con respecto a la nutrición de la palma de aceite. No es solo identificar la deficiencia de nutrientes en los campos y corregirlos. Los agrónomos también deben estar en condiciones de determinar y cuantificar todos los factores de manejo agrícola que afectan los objetivos y aliviarlos. También es importante que el administrador de la plantación entienda las diferencias en las dosis de fertilizantes entre sus lotes o bloques de fertilización aunque estas puedan parecer pequeñas.

No debe estar tentado a promediar las dosis recomendadas de fertilizantes y luego usar las dosis promedio para todos los lotes en su plantación so pretexto de facilidad de manejo y supervisión de campo. Esto se debe a que una aplicación excesiva de 0,25 kg de nitrato de amonio/palma/año le costará a la plantación RM 50/ha/año adicional mientras que la aplicación insuficiente puede resultar en una pérdida de rendimiento promedio de aproximadamente 0,5 t_{RFF} /ha/año, lo que es equivalente a RM 300/ha/año a los altos costos de fertilizantes y precios de palma de aceite actuales.

El sistema de recomendación de fertilizantes de AAR no se limita a proporcionar las dosis de fertilizantes, las fuentes, el momento oportuno, la frecuencia y los métodos de aplicación. También determina todos los factores que limitan y reducen el crecimiento y el rendimiento en los lotes, que son esenciales para calcular las dosis de fertilizantes para la palma de aceite. Asimismo, también se recomiendan soluciones para reducir las pérdidas de nutrientes por vía ambiental, ya que estos influyen en la eficiencia del uso de fertilizantes. Los factores de pérdida del rendimiento también deben ser superados, ya que afectan la precisión de los datos de entrada. Un discurso detallado de lo anterior está fuera del alcance de este trabajo.

Preocupaciones ambientales sobre el uso de fertilizantes en las plantaciones de palma de aceite

El principal objetivo del sistema de recomendación de fertilizantes para la palma de aceite ya no es alcanzar el potencial de rendimiento en el sitio, sino obtenerlo con mínimo o ningún impacto ambiental negativo. Esto se debe al interés cada vez mayor por parte de los consumidores y las ONG por la sanidad de los productos agrícolas y su impacto en el medio ambiente y en la sociedad (Fairhurst, 2003) a escala mundial.

Fairhurst (2003) sostuvo además que, a veces, la contribución del desarrollo de los cultivos para el desarrollo económico en términos de ingresos de divisas y empleo, se ve ensombrecido por las preocupaciones ambientales

expresadas por los países más desarrollados, que ahora pueden permitirse implementar un manejo ambiental riguroso.

En las plantaciones de palma de aceite, las principales preocupaciones ambientales con relación al uso de fertilizantes son las pérdidas de nutrientes, la degradación y contaminación del suelo y el cambio climático. Goh *et al.* (2011) han proporcionado una deliberación detallada de estas preocupaciones, que están fuera del alcance de este trabajo.

Conclusiones

Infers de ninguna manera es perfecto o está finalizado; en la actualidad sigue siendo necesaria cierta subjetividad mediante el uso de reglas heurísticas. Sin embargo, no niega la eficacia de estos sistemas de recomendación de fertilizantes para proporcionar unas dosis razonables y probablemente óptimas a la palma de aceite si se emplean correctamente; y la variación en la recomendación de las dosis de fertilizantes para las mismas condiciones entre los agrónomos debe ser pequeña. Por tanto, las casi iguales recomendaciones de fertilizantes para toda la plantación o incluso para toda la empresa deben ser cosa del pasado a medida que se avanza hacia las recomendaciones de fertilizantes por sitio específico y la agricultura de precisión. Es necesario ahora realizar más investigaciones que planteen un mayor reto para probar Infers en los entornos más diversos donde actualmente se cultiva palma de aceite y entender y modelar la eficiencia en el uso de fertilizantes para este cultivo para reducir las incertidumbres que puedan surgir de su uso.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Applied Agricultural Research Sdn. Bhd. (AAR) y a nuestros directivos, Boustead Plantations Bhd. y Kuala Lumpur Kepong Bhd., por su permiso para presentar y publicar este trabajo. Deseamos extender nuestros agradecimientos a José Álvaro Cristancho por sugerir a AAR presentar un artículo para esta conferencia y a Cenipalma por invitarnos a presentar nuestro trabajo.



Bibliografía

- Belgrave, W. N. C. 1937. Manurial experiments on oil palms. *The Malayan Agricultural Journal*, 25(1): 286-296.
- Burns, I. G. 1974. A model for predicting the redistribution of salts applied to fallow soil after excess rainfall or evaporation. *J. Soil Sci.*, 25: 165-178.
- Corley, R. H. V.; Bruere, C. J. 1981. Measurements in oil palm experiments. *Internal report, Unilever Plantations Group*. Londres, 33 pp.
- Corley, R. H. V.; Tinker, P. B. 2003. *The Oil Palm*. 4th Edition, Blackwell Sciences Ltd., Oxford (UK), 562 pp.
- Fairhurst, T. 2003. Environmental aspects of fertilizer management in oil palm. En: *MPOA Seminar 2003: Good Agricultural Practice And Food Safety Management In Palm Oil Industry*, Malaysian Palm Oil Association (MPOA), Kuala Lumpur, 38-65.
- Foster, H. L. 1995. Experience with fertilizer recommendation systems for oil palm. En: Proc. 1993 Porim Int. Palm Oil Congress: Update and Vision (*Agriculture*) (Jalani, S.; Ariffin, D.; Rajanaidu, N.; Tayeb, M. D.; Paranjothy, K.; Basri, M. W.; Henson, I. E.; Chang, K. C., eds.). Porim, Kuala Lumpur, 313-328.
- Foster, H. L. 2003. Assessment of oil palm fertilizer requirements. En: *Oil Palm: Management For Large And Sustainable Yields* (Fairhurst, T.; Hardter, R., eds.). Potash and Phosphate Institute (PPI), Potash and Phosphate Institute Canada (PPIIC) and Int. Potash Inst. (IPI), Singapur, 231-257.
- Foster, H. L.; Probowo, N. E. 2002. Overcoming the limitations of foliar diagnosis in oil palm. Paper presented at *Int. Oil Palm Conf.*, Indonesian Oil Palm Res. Inst., Bali, 8-12 de Julio de 2002.
- Goh, K. J. 2005. Fertilizer recommendation systems for oil palm: estimating the fertilizer rates. En: *Proceedings of Mosta Best Practices Workshops – Agronomy and Crop Management* (Chew, P. S.; Tan, Y. P., eds). Malaysian Oil Scientists' and Technologists' Association (Mosta), 235-268.
- Goh, K. J.; Chew, P. S. 1997. Interpretations of analytical data from soil survey reports for manuring recommendations: some pointers. *Annual Journal/Report 1997*, Royal Johore Planters' Association, 25-30.
- Goh, K. J.; Teo, C. B.; Chew, P. S.; Chiu, S. B. 1999. Fertilizer management in oil palm: Agronomic principles and field practices. En: *Fertilizer management for oil palm plantations*, 20-21 de septiembre de 1999, ISP North-east Branch, Sandakan (Malasia), 44 pp.
- Goh, K. J.; Tee, B. H.; Anuar, A. R. 2000. Applicability of precision farming for oil palm plantations in Malaysia. En: *Seminar on Precision Farming. 16 October 2000*. Universiti Pertanian Malaysia and Agricultural Institute of Malaysia, Serdang.
- Goh, K. J.; Mahamooth, T. N.; Ng, P. H. C.; Petronella, G. A. T.; Gan, H. H. 2011. Integrated oil palm nutrient management and its implication on environmental quality. En: Proc. Pipoc 2011 Int. Palm Oil Conf. – Agriculture, Biotechnology and Sustainability Conf., Malaysian Palm Oil Board (MPOB), Kuala Lumpur, 441-454.
- Hew, C. K.; Ng, S. K. 1968. A general schedule for manuring oil palms in West Malaysia. *The Planter*, 44(509): 417-429.
- Hew, C. K.; Ng, S. K.; Lim, K. P. 1973. The rationalization of manuring in oil palms and its economics in Malaysia. En: *Advances in Oil Palm Cultivation* (Wastie, R. L.; Earp, D. A., eds.). Inc. Soc. Planters, Kuala Lumpur, 306-323.
- Kee, K. K.; Goh, K. J.; Chew, P. S.; Tey, S. H. 1994. An integrated site specific fertiliser recommendations system (Infers) for high productivity in mature oil palms. En: *ISP Planters' Conference on Managing Oil Palms for Enhanced Profitability* (Chee, K. H., ed.), Inc. Soc. Planters, Kuala Lumpur, 83-100.
- Lo, K. K.; Goh, K. H. 1973. The analysis of experiments on the economics of fertilizer application on oil palms. En: *Advances in Oil Palm Cultivation* (Wastie, R. L.; Earp, D. A., eds.) Inc. Soc. Planters, Kuala Lumpur, 324-337.
- Morgan, R. G. C.; Morgan, D. D. V.; Finney, H. J. 1984. A predictive model for the prediction of soil erosion risk. *J. Agric. Engineering Res.*, 30: 245-253.
- Ng, S. K. 1977. Review of oil palm nutrition and manuring – scope for greater economy in fertilizer usage. *Oleagineux*, 32: 107-209.
- Ng, S. K.; Rathasingam, K. 1970. Soil heterogeneity and field sampling for chemical analysis of Malaysian soils. Paper 40. En: *First Asean Soils Conf.*, Bangkok (Tailandia).
- Teoh, K. C.; Chew, P. S. 1988. Use of rachis K analysis as an indicator of K nutrient status in oil palm. En: *Proc. 1987 Int. Oil Palm Conf.* (Halim, H. H. A.; Chew, P. S.; Wood, B. J.; Pushparajah, E., eds.). Porim y Inc. Soc. of Planters Kuala Lumpur, 262-271.
- Tinker, P. B.; Nye, P. H. 2000. *Solute movement in the rhizosphere*. Oxford University Press, Oxford (UK), 444 pp.

Apéndice 1: Evaluación estándar de AAR a partir de información agronómica, entradas y salidas de manejo para un bloque de fertilización

Date : 05/05/2004	APPLIED AGRICULTURAL RESEARCH SDN. BHD. (No Syarikat : 90455-D)	Appendix : 1																
Page : 12	BATU LINTANG ESTATE Manuring Block History Report																	
Block : 1 PM1991A 1	Density : 132	Soil : MUNCHONG,LOCAL ALLUVIUM																
Hectarage : 38.00	Planting Material : DxP AA	Planting Distance : 9.1x9.1x9.1 @																
Soil Analysis Results																		
Year	Area	Depth (cm)	pH Water	C (%)	N (%)	C / N Ratio	P (ppm)		Exch. cations			CEC (m.e.%)	Remarks					
							Total	Avall.	K	Ca	Mg							
1998	PC	0-15	4.51				209	31.30	0.26		0.36							
1998	PC	15-45	4.06				120	14.30	0.17		0.20							
1998	IR	0-15	4.75	0.74	0.10	7.40	164	30.70	0.10	1.13	0.39	4.70						
1998	IR	15-45	4.40	0.53	0.07	7.57	124	14.80	0.10	0.72	0.24	4.10						
2001	PC	0-15	4.43				240	22.00	0.38		0.28							
2001	PC	15-45	4.24				146	8.10	0.35		0.17							
2001	IR	0-15	4.60	0.97	0.10	9.70	175	11.50	0.23	0.74	0.18	4.50						
2001	IR	15-45	4.48	0.76	0.08	9.50	190	7.30	0.22	0.47	0.13	4.80						
Leaf Analysis Results																		
Year	Ash	N	P	K	Mg	Ca	B	Cl	L.A	Dry Wt	LAI	Size	Vig.	Nutrients applied (kg/palm)				
														N	P2O5	K2O	MgO	Minor
1999	6.66	2.47	0.161	0.99	0.22	0.70	11.40		18.56	4.99	12.42	8	8	1.07	1.49	1.80	0.56	0.06
2000	7.01	2.76	0.166	0.95	0.25	0.80	14.20			5.15		7	7	1.26	0.00	1.95	0.34	0.05
2001	6.14	2.72	0.170	0.99	0.25	0.78				5.91		8	6	1.10	0.00	1.65	0.00	0.00
2002	6.78	2.70	0.160	1.03	0.24	0.75				5.52		7	7	1.18	0.00	2.25	0.00	0.00
2003	5.97	2.69	0.166	0.93	0.24	0.72	16.80			5.61		8	8	1.18	0.75	2.25	0.72	0.00
2004	6.38	2.63	0.160	0.97	0.24	0.75				6.02				1.18	0.00	2.40	0.00	0.00
Yearly FFB Yield (t/ha)																		
Year	Density	FFB/ha	Bch/ha	Av. Wt.	SYP	mm	Days											
1999	136	30.66	1786	17.17	34.69	4073	185											
2000	136	26.29	1547	16.99	35.25	3374	183											
2001	132	22.98	1259	18.25	35.49	3185	143											
2002	132	27.89	1431	19.49	35.58	3141	150											
2003	132	30.92	1553	19.91	35.52	3110	172											
3-2004	132	6.55	330	19.85	35.38	582	38											
Rainfall																		
Year	Density	FFB/ha	Bch/ha	Av. Wt.	SYP	mm	Days											
1999	136	30.66	1786	17.17	34.69	4073	185											
2000	136	26.29	1547	16.99	35.25	3374	183											
2001	132	22.98	1259	18.25	35.49	3185	143											
2002	132	27.89	1431	19.49	35.58	3141	150											
2003	132	30.92	1553	19.91	35.52	3110	172											
3-2004	132	6.55	330	19.85	35.38	582	38											
Yearly FFB Yield (t/ha)																		
Year	Density	FFB/ha	Bch/ha	Av. Wt.	SYP	mm	Days											
1999	136	30.66	1786	17.17	34.69	4073	185											
2000	136	26.29	1547	16.99	35.25	3374	183											
2001	132	22.98	1259	18.25	35.49	3185	143											
2002	132	27.89	1431	19.49	35.58	3141	150											
2003	132	30.92	1553	19.91	35.52	3110	172											
3-2004	132	6.55	330	19.85	35.38	582	38											
Canopy																		
Size	Vig.	Frd.No	Loss	Palm			Soil			Management Practices				Yield				
				Uni.	Loss	Etiol.	T-Soil	Cons	Drain	Legume	PC	IR	F.App	Pruning		Bch/p	Reco.	
1	1	<=8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Qty	Freq.	1	1	
2	2	9~16	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	
3	3	17~24	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	
4	4	24~32	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	
5	5	>=33	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4		5	5	
6	6	<u>Mature</u>		Comments :														
7	7	<=33																
8	8	33~37																
9	9	38~41																
10	10	42~45																
		>=46																
Deficiency Symptoms																		
Nutri.	Slight		Moderate		Severe		Correction Required										
	Few	Many	Few	Many	Few	Many												
N																		
K																		
Mg																		
B																		
Other																		