

# MANEJO INTEGRADO DE LA NUTRICIÓN EN LA PALMA DE ACEITE

## INTEGRATED OIL PALM NUTRITION MANAGEMENT

### AUTORES



**Kee Khan Kiang**

Applied Agricultural  
Resources Sdn. Bhd.  
Ph.D. Plant Physiology Lincoln  
College – Canterbury  
AAR – Malasia  
aarsb@po.jaring.my

**KJ Goh**

Advanced Agriecological  
Research Sdn Bhd.  
Locked Bag 212, Sg.  
Buloh Post Office,  
47000, Sg Buloh, Selangor,  
Malasia.

### Palabras CLAVE

Fertilizantes, manejo integrado, potencial de rendimiento en el sitio (PRS), equilibrio de nutrientes, Infers (sistema de recomendación integrado), manejo, tecnología GPS/GIS de administración de la información, productividad, palma de aceite.

Fertilizer, integrated oil palm, site yield potential (SYP), nutrient balance, Infers (Integrated site-specific), management, technology GPS/GIS modern information, productivity oil palm.

Traducido por Fedepalma.  
Versión original en inglés  
disponible en el Centro de  
Documentación de Fedepalma.



### RESUMEN

En muchas situaciones, los fertilizantes son el factor limitante más común que afecta el rendimiento de la palma de aceite. Además, es el insumo más costoso en la producción de la misma. Es preciso evaluar las necesidades de fertilizantes para mantener un máximo rendimiento económico y entregar los nutrientes que permitan satisfacer las necesidades de la planta y ésta es la base para un manejo eficiente de los fertilizantes. El concepto de potencial de rendimiento en el sitio (PRS) permite establecer objetivos y metas de rendimiento realistas y además fomentar un enfoque multidisciplinario para alcanzar rendimientos máximos. El enfoque del equilibrio de nutrientes brinda una base lógica y cuantitativa para estimar las necesidades de fertilizantes al igual que un marco para el manejo de fertilizantes, de forma específica, por sitio. Se ha elaborado Infers, un sistema de recomendación integrado, específico por sitio, que integra el concepto PRS con el enfoque del equilibrio de nutrientes. Un manejo eficiente y equilibrado de los nutrientes requiere que cada uno de ellos se suministre en una cantidad suficiente y se aplique en una forma que permita una máxima recuperación (en términos de tasas, oportunidad, aplicación, frecuencia, etcétera). La disponibilidad de tecnología GPS/GIS de administración de la información, moderna, confiable, a un costo apropiado, fácil de utilizar, ha mejorado nuestra capacidad de planear y aplicar prácticas específicas al sitio, para la plantación y controlar y simular los impactos de tales prácticas. Tanto los agrónomos como los hacendados deben aprovechar todas las nuevas tecnologías comprobadas y los avances para aumentar la productividad y la eficiencia y poder reducir los costos de producción. No obstante, es preciso brindar atención cuidadosa a cada detalle del manejo, preparación del terreno, siembra y mantenimiento ya que es la base para la alta productividad y eficiencia en la palma de aceite. Es importante hacer hincapié en los aspectos básicos. Debe existir un compromiso para garantizar que incluso el trabajo más rutinario, se realice en forma adecuada.



## SUMMARY

Fertilizers are still the most common limiting factor for high oil palm yields in many situations. It is also the most costly input in palm oil production. The accurate assessment of fertilizer needs to sustain maximum economic yields and delivery of the nutrients to meet the need is the cornerstone of efficient fertilizer management. The concept of site yield potential (SYP) allows objective and realistic yield target to be set and also helps foster a multidisciplinary approach to yield maximization. The nutrient balance approach provides a logical and quantitative basis for estimating fertilizer requirements as well as a framework for site-specific fertilizer management. INFERS, an integrated site-specific fertilizer recommendation system which integrates the SYP concept with the nutrient balance approach has been developed. Efficient and balanced nutrient management requires that each nutrient is supplied in sufficient quantity and applied in a manner (in term of rates, timing, placement, frequency, etc) that maximizes its recovery. The availability of reliable, affordable, user-friendly GPS/GIS and modern information management technology has enhanced our ability to plan and apply site-specific practices on the estates and to monitor and simulate the impacts of such practices. Agronomists and planters alike must take advantage of all new proven technologies and advances to increase productivity and efficiency and reduce production costs. However meticulous attention to each detail of field management and land preparation, planting and upkeep is the foundation for high productivity and efficiency of the oil palm. The need to get the basics right is always important. There must be commitment to ensure that even the most routine is well accomplished.



## INTRODUCCIÓN

La palma de aceite es un cultivo que requiere de una alta cantidad de nutrientes, debido a su rápido crecimiento en los primeros años del ciclo de cultivo y a la alta producción de materia seca para el crecimiento y rendimiento (Ng, 1977; Chew *et al.*, 1992). Algunas estimaciones de la demanda anual de nutrientes, para palmas de alto rendimiento, se resumen en la Tabla 1. Los principales nutrientes que se requieren son K, N, Mg y P en orden de importancia decreciente. La mayoría de la demanda de nutrientes se exporta en los racimos cosechados y se inmoviliza en el tronco.

En Malasia, los suelos donde crece la palma de aceite principalmente son ultisoles y oxisoles (Pushparajah y Chew, 1998) y áreas menos extensas de inceptisoles e histosoles. Por lo general, estos suelos son ácidos, con alta lixiviación y bajos en fertilidad inherente. Por tanto, no es sorprendente que sea necesario utilizar altos insumos de fertilizantes inorgánicos a fin de alcanzar altos rendimientos económicos y una rentabilidad sostenible (Ng y Thong, 1985; Chew *et al.*, 1992; Fairhurst,

2003). De ahí que la fertilización correcta es un factor agronómico clave que determina los rendimientos de la palma de aceite, el costo de producción y la rentabilidad en Malasia.

Este artículo, primero señala los principales objetivos y principios de un plan eficiente de fertilizantes. En segundo lugar, se debe el progreso alcanzado a través de los avances en agronomía y manejo de nutrientes en las últimas dos décadas, que han permitido el desarrollo de un sistema integrado de manejo de la nutrición en la palma de aceite. Además, se identificaron las necesidades de investigación y desarrollo

**Tabla 1.** Estimación de la demanda anual de nutrientes en las palmas de aceite de alto rendimiento

Fuente	Demanda de nutrientes (kg/ha/año)				
	N	P	K	Ca	Mg
Ng (1977) <sup>a</sup>	193	26	252	nd	61
Pushparajah y Chew (1998) <sup>b</sup>	192	26	251	89	61
Hensen (1999) <sup>c</sup>	114	15	149	33	32
Ng <i>et al.</i> (1999) <sup>d</sup>	163	22	279	nd	49
Goh y Hardter (2003) <sup>e</sup>	191	27	265	nd	59
Tarmizi <i>et al.</i> (2004) <sup>f</sup>	116	12	167	nd	22

a palmas de 8-10 años, se asume 25 t racimo/ha/año.

b se asume 148 p/ha.

c palmas de 10 años, suelos serie Selangor, se asume 25 t racimo/ha/año.

d se asume 30 t racimo/ha.

e se asume 24 t racimo/ha/año y 148 p/ha.

f palmas de 9-12 años, se asume 30 t racimo/ha.

(I&D) y las estrategias futuras para el mejoramiento continuo y un manejo más eficiente de los fertilizantes.

## OBJETIVOS Y PRINCIPIOS DE UN PLAN EFICIENTE DE MANEJO DE FERTILIZANTES

La eficiencia en el uso de fertilizante se define, en este contexto, como la cantidad de rendimiento alcanzado por unidad de fertilizante aplicada (Goh *et al.*, 2003). Por tanto, el mejoramiento de la eficiencia en el uso de fertilizantes consiste en aumentar el rendimiento por cada unidad de fertilizante aplicada.

Se cuenta con numerosos artículos y libros sobre el manejo eficiente de fertilizantes en las palmas de aceite, por ejemplo, von Uexkull y Fairhurst, 1991; 1992; Goh *et al.*, 2003, Corley y Tinker, 2003; Kee *et al.*, 2004. Un plan exhaustivo e integrado de manejo de nutrientes debe lograr los siguientes objetivos principales (Goh, 2004):

- Ofrecer un suministro adecuado de nutrientes a cada palma en proporciones equilibradas para garantizar un crecimiento vegetativo sano y rendimientos económicos óptimos en racimos
- Garantizar un uso más eficiente de los nutrientes aplicados que permitan el crecimiento, mejorar la captación y reducir, al mínimo, las pérdidas
- Aumentar al máximo el reciclaje de nutrientes integrando el uso de los fertilizantes minerales y los residuos de las palmas, y reduciendo así, la dependencia de los fertilizantes minerales
- Reducir al mínimo los impactos negativos ambientales relacionados con el exceso de fertilización, la degradación del suelo y la contaminación.

Los pasos clave de un plan de manejo de nutrientes eficiente e integrado son:

- 1 Determinación de las metas de crecimiento y rendimiento.
- 2 Estimación de la demanda de nutrientes por crecimiento objetivo y rendimiento.
- 3 Formulación de tasas de fertilizante precisas y equilibradas y programación para satisfacer las demandas de crecimiento y rendimiento.
- 4 Reducir las pérdidas potenciales y al mismo

tiempo maximizar la captación del nutriente de fertilizante después de su aplicación.

- 5 Adoptar prácticas agronómicas apropiadas y adecuadas para mejorar la eficiencia en el uso del fertilizante, conservación y mejoramiento de la calidad del suelo natural y reducción de la dependencia de los fertilizantes inorgánicos.
- 6 Monitoreo de los resultados y consideración de acciones de seguimiento apropiadas, si se requiere.

Los pasos 1 y 2 son importantes para una estimación cuantitativa precisa de los nutrientes que se requieren para alcanzar las metas de crecimiento y rendimiento. Posteriormente, éstas se traducen en los pasos 3 y 4, en tipos y tasas reales de fertilizantes, teniendo en cuenta las características del sitio tales como tipo de suelo, terreno, patrón de precipitación, cobertura del suelo, etc., que afecta la eficiencia de captación del fertilizante.

Los pasos 1 y 4 son responsabilidad del agrónomo y por lo general el resultado depende del cronograma de aplicación del fertilizante que brinda en detalle, información sobre tipo y tasa de fertilizante al igual que momento, frecuencia y sitio de aplicación (en otras palabras qué fertilizantes, cuánto, cuándo, con qué frecuencia y dónde aplicar).

Por tanto, el administrador de la plantación y su personal deben garantizar que el programa de fertilización establecido por el agrónomo, se implemente para lograr los mejores resultados y el máximo retorno económico. Además, el administrador de la plantación que trabaja estrechamente con el agrónomo, debe implementar buenas prácticas agronómicas (paso 5), para minimizar las pérdidas y promover la captación eficiente de nutrientes, que es crucial para garantizar la sostenibilidad de la producción de la palma de aceite.

Se incluirán aspectos tales como la calidad del suelo (Haynes, 2003) y la conservación del agua, el manejo de la cubierta del suelo y el reciclaje de los subproductos de la planta extractora de palma de aceite y los residuos de la biomasa, cuando aplique. Cualquier limitación tal como un drenaje inadecuado, estrés por humedad, etiolación, etc., deberá identificarse y reducirse para optimizar las condiciones



de crecimiento de la palma a fin de aprovechar el retorno máximo de los fertilizantes aplicados.

A continuación, se examinan brevemente estos pasos.

## DETERMINACIÓN DEL CRECIMIENTO Y METAS DE RENDIMIENTO

Este es un paso crítico ya que determina directamente las tasas reales de fertilizante que se requieren. Es obvio que las metas difieran de un sitio a otro dependiendo de las condiciones de clima y suelo del sitio. El potencial de rendimiento del sitio (PRS) es el rendimiento máximo que puede lograrse para un sitio dado (Figura 1) después de tener en cuenta los factores limitantes de rendimiento del sitio (Tinker, 1984).

Un modelo empírico denominado el modelo Asyp fue desarrollado por AAR para la predicción del potencial de rendimiento del sitio, en la palma de aceite (Goh *et al.*, 2000). Al tomar datos pertinentes del sitio, por ejemplo, precipitación, suelos, material vegetal y patrón de siembra, en la actualidad, es posible predecir el PRS para un sitio dado o plantación, mediante el uso del modelo Asyp. El trabajo de validación indicó que el modelo puede brindar un potencial realista y alcanzable de rendimiento tanto para las palmas jóvenes como maduras (Kee *et al.*, 1998).

En la Tabla 2 se presenta un ejemplo de un resultado del modelo Asyp.

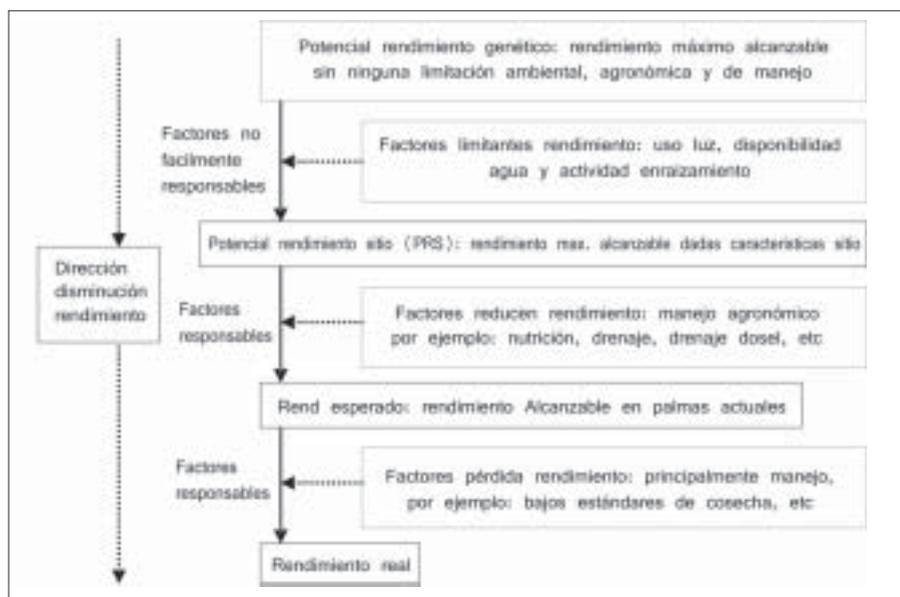
En la actualidad, con el modelo Asyp, podemos establecer metas realistas de rendimiento para un sitio dado. Y lo que es más importante, la aplicación del concepto del PRS ha facilitado un enfoque multidisciplinario para lograr el máximo de rendimiento. La atención se dirige a los factores que limitan el rendimiento y que pueden estar presentes en el sitio y por tanto son de ayuda para los administradores y agrónomos que pueden concentrarse en los insu-

mos específicos para el sitio, a fin de mejorar estos factores limitantes. Este enfoque específico para el sitio, permitirá aumentar la efectividad y reducir el desperdicio y las ineficiencias. De ahí que la aplicación del concepto del PRS ha abierto el camino para que la industria avance hacia el manejo específico del sitio.

## ENFOQUE DEL EQUILIBRIO DE NUTRIENTES PARA LA ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES DE FERTILIZANTE

Ng en 1977 apoyó por primera vez el enfoque del equilibrio de nutrientes para la formulación de las tasas de fertilizante en la palma de aceite. Este enfoque precisa la estimación de la demanda total de nutrientes del cultivo en forma del crecimiento vegetativo, rendimiento y otras pérdidas (Figura 2). Asimismo, se estima el suministro de nutrientes a través del suelo, el reciclaje de los residuos del cultivo y los retornos a la atmósfera.

El déficit entre la oferta y la demanda aumenta por la aplicación de fertilizante, habida cuenta de la eficiencia del fertilizante. En la Tabla 3 se presenta un ejemplo del cálculo del equilibrio de nutrientes y las necesidades de fertilizantes para un rendimiento sostenible de racimos de 30 t/ha/año, en una plantación madura de palma de aceite.



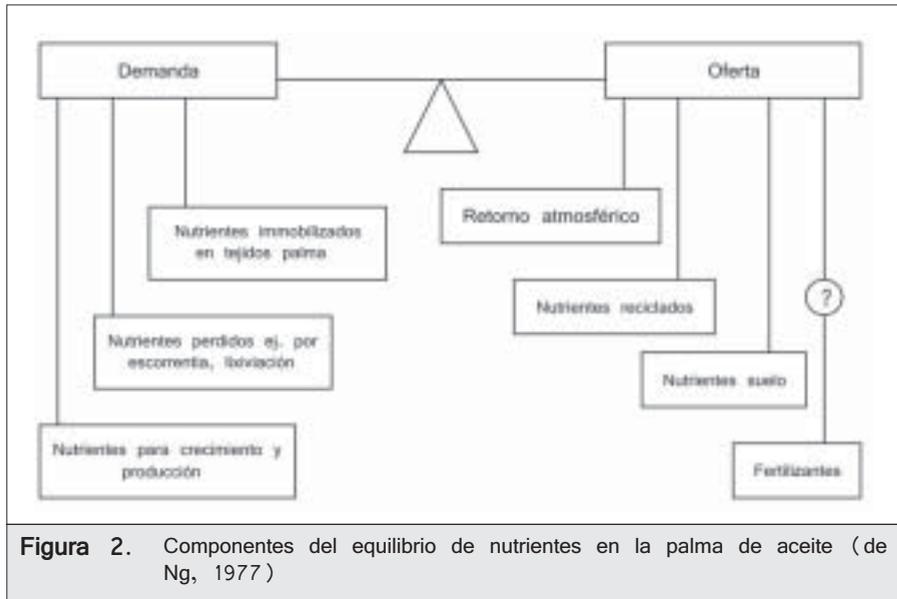
**Figura 1.** Diagrama esquemático de diferentes definiciones del rendimiento (de Goh *et al.*, 2000).

**Tabla 2.** Ejemplo de un resultado del modelo Asyp que establece una lista de los parámetros utilizados para el cálculo y el PRS generado para varios bloques dentro de la plantación Air Hitam (Malasia)

Bloque	Suelo %	Ha	Año evaluado	Edad	Año siembra	Material siembra	Densidad siembra	Siembra Patrón	Prof. suelo	Estruct. suelo	Terreno	Con- serv't <sup>n</sup>	Tipo suelo	Agua disp mm/m	ASYP		Act. rend	
															Suelo	Man blk		
1PM79A1	23,7	46	2006	26	1979	DxP Ch	137	Str-Lin	100	bueno	2	0	L. aluv.	150	26	21	19,5	
	76,3																	20
	5,1																	18
1PM94C1	23,6	24	2006	11	1994	K AA	147	Str-Lin	100	Mod	2	0	L. alluv.	150	28	23	21,9	
	71,3																	22
1PM96 A1	21,0	42	2006	9	1996	DxP GH	146	Str-Lin	100	Bueno	2	0	L. alluv.	150	35	32	29,5	
	79,0																	31
	12,8																	22
1PM 97A1	3,8	64	2006	8	1997	DxP AA	138	Str-Lin	75	Mod	2	0	L. alluv.	130	30	22	21,2	
	23,4																	24
	28,0																	20
	32,0							Con-Gd	70	Mod	10	1	Tavy	112	21			

**Leyenda:**

- Materiales Pltg: DxP Ch = Chemara; DxP GH = Golden Hope; DxP AA = AAR; K AA = Clones AAR
- Patrón siembra: Str-lin = línea recta; Con-Pr = curva de nivel mala; Con-Gd = curva de nivel buena
- Profundidad suelo en cm: Buena, moderada, regular y mala
- Estructura suelo: Buena, moderada, regular y mala
- Terreno en grados: 1 = con terrazas de conservación; 0 = sin terrazas de conservación
- Conservación: L alluv = aluvial local; M'cca = Malacca (Petroférico Hapludox), Tavy (Típico Kanhapludults, fase petroferrica)
- Tipo de suelo: Bungor (Típico Hapludult), Durian (Plintico Kanhapludult)
- Aguas disp: capacidad de retención del agua del tipo de suelo, mm/m profundidad del suelo
- Asyp (suelo): Asyp de la unidad de suelo
- Asyp (Man. Blk): Asyp del bloque de magnesio (promedio ponderado) para año 2006
- Rendimiento actual: para año 2005



**Figura 2.** Componentes del equilibrio de nutrientes en la palma de aceite (de Ng, 1977)

concepto de PRS en la transición hacia el manejo de fertilizantes, específico al sitio.

## MANEJO INTEGRADO DE FERTILIZANTES ESPECÍFICOS AL SITIO

Una transición lógica en el uso del enfoque del equilibrio de nutrientes, es el desarrollo de un sistema de recomendación de uso de fertilizantes, específico al sitio (Infers) para un manejo eficiente del

**Tabla 3.** Un ejemplo del equilibrio de nutrientes y de los insumos de fertilizante que se requieren para sostener un rendimiento de 30 tn de racimos por ha por año en palmas de aceite maduras (De: Ng *et al.*, 1999).

Tipos	Componentes	Nutrientes (kg/palma/año)			
		N	P	K	Mg
Demanda de nutrientes	Tronco	42,4	4,1	121,6	10,2
	Racimo	99,1	15,6	129,6	33,3
	Escorrentía	15,2	1,0	21,6	2,1
	Lixiviación	3,4	0,9	6,3	3,4
	Erosión	2,4	Trace	Trace	Trace
	Total 1	162,5	21,6	272,9	49,1
Oferta de nutrientes	Precipitación	17,0	2,4	31,6	4,8
	Total 2	17,0	2,4	31,6	4,8
Insumo de nutrientes	Nutrientes requeridos = Total 1 - Total 2	145,5	19,2	247,6	44,3
	Tipos de fertilizante	AC	JRP	MOP	KS
	Equivalente de Fertilizante	4,22	0,97	3,59	1,97

fertilizante en las palmas de aceite (Kee *et al.*, 1994).

En la Figura 3 se presenta de forma esquemática. Infers incorpora el modelo del potencial de rendimiento del sitio (Asyp) como un parámetro de insumo y además integra todos los datos pertinentes tales como análisis del suelo y foliar, medición del crecimiento vegetativo, precipitación, fertilizantes aplicados anteriormente, registros de rendimientos, al igual que otros datos específicos al sitio tales como tipo de suelo, textura, terreno, drenaje, etcétera.

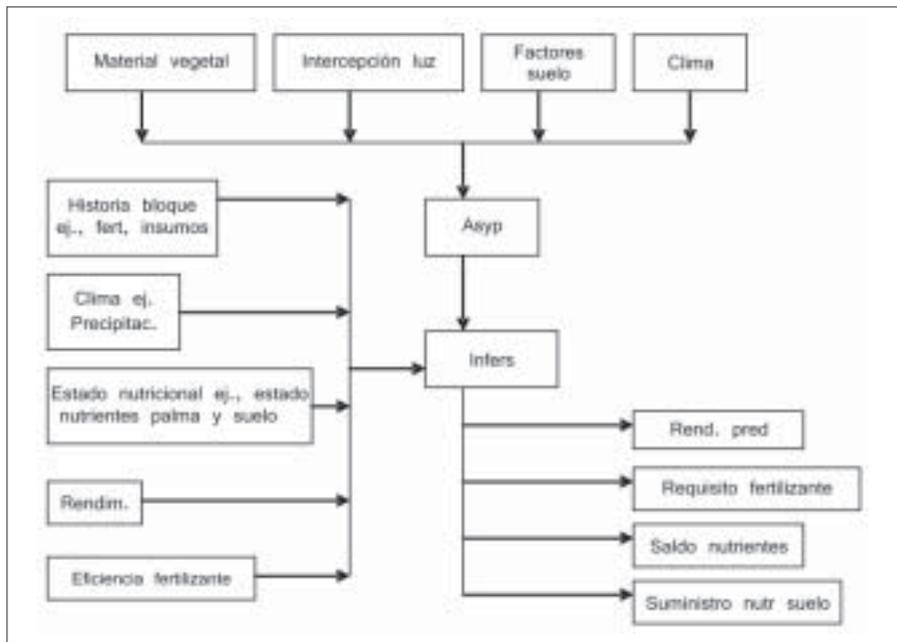
El modulo Asyp establece el rendimiento objetivo que se logrará y los otros datos incluidos calculan la demanda y oferta estimada de nutrientes que se requiere para alcanzar el PRS proyectado. El modelo In-

Aunque el concepto es muy simple, brinda una base lógica y cuantitativa para la estimación de las necesidades de nutrientes de la palma. Asimismo, se trata de un enfoque dinámico que tiene en cuenta los componentes multifactoriales de la demanda y oferta de nutrientes en el sistema de la palma de aceite. Por tanto, el enfoque del equilibrio de nutrientes brinda un marco que alienta a los agrónomos a integrar los diversos factores que deben considerarse cuando se formulan recomendaciones para el uso de fertilizantes. Además, complementa el

fers brinda cuatro productos principales, es decir:

- Rendimiento previsto (Figura 4)
- Tasas de fertilizante que se requieren para el rendimiento previsto (Figura 5)
- Acumulación de nutrientes
- Suministro de nutrientes al suelo (Tabla 4).

El sistema se validó frente a ensayos y datos de bloques comerciales y se encontró que era satisfactorio (Kee *et al.*, 1994). Aunque Infers



**Figura 3.** Diseño esquemático que presenta parámetros de insumo y producción para Infers (de Kee *et al.*, 1994).

Input Data For: Year 0 And Year 1 To Calculate Gross Nutrient Requirement (GNR)

Estate:

Field Information

Field:

Density:

Site

Inland

Coastal

Palm And Frond 17 Information

	Year 0	Year 1
Palm Age (month)	192	204
Actual Yield (t/ha)	31	
Targeted Yield (t/ha)		32
Expected Yield (t/ha)		31.83
SYP (t/ha)		33
Petiole Width (cm)		
Petiole Depth (cm)		
Frond Length (cm)		
Calculated FDWT (g)		
Frond Dry Weight (g)	4900	5000
No. of Green Fronds [25 - 48]	40	40

Pinnas Concentration (%)

	Year 0	Year 1
N	2.52	2.59
P	.150	.168
K	.81	.83
Mg	.25	.28
S (ppm)		

Buttons: Calculate GNR, Main Menu

**Figura 4.** Ejemplo de Infers que muestra el rendimiento esperado, rendimiento objetivo y potencial de rendimiento del sitio para un bloque comercial de palma de aceite (1PM89C) en la plantación Telok Sengat.

## IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE FERTILIZANTES

Una vez establecidas las metas de rendimiento y calculada las tasas de fertilizante que se requieren para satisfacer las necesidades de la palma para crecimiento y rendimientos, es importante garantizar que los nutrientes se aplican de la forma más eficiente en relación con los costos y que sean captados con eficiencia por las palmas. Esto se logra teniendo en cuenta los siguientes factores:

1. Tipo y calidad de los fertilizantes: la selección de los fertilizantes debe tener en cuenta aspectos tales como la edad, suelos, clima y terreno de la plantación al igual que el precio y las eficiencias relativas del fertilizante. Por ejemplo, se pueden seleccionar diferentes fuentes de N (sulfato de amonio, nitrato de amonio, cloruro de amonio y urea).

Varios estudios han mostrado que no hay diferencias significativas en las respuestas de rendimiento del racimo en relación con estas fuentes de N, con excepción de la urea. Otro

proporciona solo una primera aproximación, no obstante, es un objetivo consistente y técnicamente científico para la formulación específica al sitio, de las recomendaciones de fertilizantes que permitan alcanzar altos rendimientos sostenibles.

ejemplo es el uso de la kieserita en comparación con la caliza de base de magnesio (CBM). Estas dos fuentes de Mg difieren en cuanto a su solubilidad y su capacidad de neutralización del ácido. Para las palmas jóvenes y cuando es



Gross Fertiliser Efficiency and Fertiliser Rate							
Gross (Net) Nutrient Requirement (g/palm/year)		Year-4	Year-3	Year-2	Year-1	Year 0	Year 1
N		1156	1032	1245	574	1215	
P		159	163	211	154	228	
K		2376	1730	2164	1610	1960	
Mg		245	177	277	233	250	
B		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	

Nutrient Applied (g/palm/year)						
Nutrient	Year-4	Year-3	Year-2	Year-1	Year 0	Year 1
N		1.1	1.04	1.04	1.04	1.16
P2O5		6	1.6	40	40	0.77
K2O			2.16	2.16	2.16	2.31
MgO		46	32	32	56	0.46
B2O3						

Fertiliser Rate (g/palm/year)		
Content (%)	Fertiliser	Rate
25	AC	4.64
33	BF	2.33
60	HOP	3.85
27	Es	1.70

**Figura 5.** Ejemplo del resultado de Infers que muestra las necesidades de nutrientes y las tasas de fertilizante equivalentes para el rendimiento objetivo (32 t racimos/ha) en un bloque comercial (PM89C) en la plantación Telok Sengat.

miento y acumulación de Mg en el suelo, se prefiere la CBM. Por lo general, se recomiendan los fertilizantes de liberación lenta y los compuestos para el vivero y las palmas inmaduras, respectivamente.

2. Método y aplicación de los fertilizantes: aunque es común la aplicación de los fertilizantes utilizando equipo mecánico de aspersión, aun se aplican los fertilizantes manualmente en Malasia; la mayoría de

necesario hacer una rápida corrección del Mg, se prefiere la kieserita. No obstante, para las palmas maduras, cuando se requiere Mg para su manteni-

las plantaciones está ubicada en terreno ondulado donde la mecanización no es factible. Por lo general, los fertilizantes se aplican al voleo en los

**Tabla 5.** Guía general de áreas de aplicación (colocación) de fertilizantes en las plantaciones de palma de aceite

Edad palma	Tipo de fertilizante	Área colocación
Inmadura (< 3 años)	Todos	Al voleo de forma uniforme dentro del plato desyerbado alrededor de la palma
Madura joven (4-9 años)	N, K, B y kieserita	Al voleo de forma uniforme dentro y alrededor del plato desyerbado pero un poco más lejos de la base de la palma (alrededor de 1 m)
	CBM y roca fosfórica	Al voleo de forma uniforme justo por fuera y alrededor del plato de la palma
Completamente madura (> 10 años)	Todos excepto urea, kieserita y B	Al voleo de forma uniforme en el espacio entre los surcos y sobre las paleras
	Kieserita, B y urea	Al voleo de forma uniforme dentro y alrededor del plato desyerbado pero un poco más allá de la base de la palma (aproximadamente 1 m)

**Tabla 6.** Pérdida anual de nutrientes y pérdida de nutrientes después de la aplicación en agua de escorrentía (Kee y Chew, 1996).

Periodo (1994)	Pérdida N (kg N ha <sup>-1</sup> )		Pérdida P (kg P ha <sup>-1</sup> )		Pérdida K (kg K ha <sup>-1</sup> )		Pérdida Mg (kg Mg ha <sup>-1</sup> )	
	Control	tasa 1	Control	tasa 1	Control	Tasa 1	Control	tasa 1
Total anual (En-dic.)	24,09	34,09	1,51	2,47	29,77	57,73	2,91	8,16
% pérdida neta <sup>1</sup>	-	9,2	-	0,89	-	10,8	-	8,7
Pérdida en abr + oct después % aplicación <sup>2</sup>	2,76	11,04	0,12	0,59	4,79	26,70	0,72	4,89
De total anual	11,4	32,4	7,9	23,9	16,1	46,2	24,9	59,9

1. % pérdida neta =  $\frac{\text{pérdida nutrientes (tratado - control)}}{\text{Nutriente fertilizante aplicado}} \times 100$

Aplicación abril y octubre

@ tasa 1 comprende: 1.75 kg sulfato de amonio palma<sup>-1</sup>; 1.75 kg muriato de potasa palma<sup>-1</sup>; 1.25 kg kieserita palma<sup>-1</sup>; 2.50 kg roca fosfórica Jordan palma<sup>-1</sup>.

2. Pérdidas acumulativas en cinco eventos de lluvia después de la aplicación de fertilizante en abril y octubre.

**Tabla 4.** Ejemplo de un resultado de Infers en forma de un cuadro de “consulta” para un bloque comercial (IPM98C, plantación Telok Sengat) que muestra la tasa de fertilizante N (como cloruro de amonio) que satisface las necesidades de la palma con diversa eficiencia en contribución del suelo y eficiencia de fertilizante.

Tasa de fertilizante (kg/p/año)	Ef. Fert (%)		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
	Con. suelo. (%)																						
Campo			97,2	48,6	32,4	24,3	19,4	16,2	13,9	12,2	10,8	9,7	8,8	8,1	7,5	6,9	6,5	6,1	5,7	5,4	5,1	4,9	4,9
Sitio	IPM1989C																						
	Continen.		5	92,3	46,2	30,8	23,1	18,5	15,4	13,2	11,5	10,3	9,2	8,4	7,7	7,1	6,6	6,2	5,8	5,4	5,1	4,9	4,6
Rend. esperado	31,8		10	87,5	43,7	29,2	21,9	17,5	14,6	12,5	10,9	9,7	8,8	8,0	7,3	6,7	6,3	5,8	5,5	5,2	4,9	4,6	4,4
Rend. esperado	32,0		15	82,6	41,3	27,5	20,7	16,5	13,8	11,8	10,3	9,2	8,3	7,5	6,9	6,4	5,9	5,5	5,2	4,9	4,6	4,4	4,1
FDWT usado (O)	4.900		20	77,8	38,9	25,9	19,4	15,6	13,0	11,1	9,7	8,6	7,8	7,1	6,5	6,0	5,6	5,2	4,9	4,6	4,3	4,1	3,9
FDWT usado (I)	5.000		25	72,9	36,5	24,3	18,2	14,6	12,2	10,4	9,1	8,1	7,3	6,6	6,1	5,6	5,2	4,9	4,6	4,3	4,1	3,8	3,7
Nutriente	N (g)		30	68,0	34,0	22,7	17,0	13,6	11,3	9,7	8,5	7,6	6,8	6,2	5,7	5,2	4,9	4,5	4,3	4,0	3,8	3,6	3,4
Dosel (O)	1.878,4		35	63,2	31,6	21,1	15,8	12,6	10,5	9,0	7,9	7,0	6,3	5,7	5,3	4,9	4,5	4,2	4,0	3,7	3,5	3,3	3,2
Dosel (I)	1965,6		40	58,3	29,2	19,4	14,6	11,7	9,7	8,3	7,3	6,5	5,8	5,3	4,9	4,5	4,2	3,9	3,7	3,4	3,2	3,1	2,9
Captación dosel	87,2		45	53,5	26,7	17,8	13,4	10,7	8,9	7,6	6,7	5,9	5,4	4,9	4,5	4,1	3,8	3,6	3,3	3,1	3,0	2,8	2,7
Tronco (O)	2.446,3		50	48,6	24,3	16,2	12,2	9,7	8,1	6,9	6,1	5,4	4,9	4,4	4,1	3,7	3,5	3,2	3,0	2,9	2,7	2,6	2,4
Tronco (I)	2.719,8		55	43,7	21,9	14,6	10,9	8,8	7,3	6,3	5,5	4,9	4,4	4,0	3,7	3,4	3,1	2,9	2,7	2,6	2,4	2,3	2,2
Captación tronco	273,5		60	38,9	19,4	13,0	9,7	7,8	6,5	5,6	4,9	4,3	3,9	3,5	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4	2,3	2,2	2,1	1,9
Raíz (O)	432,5		65	34,0	17,0	11,3	8,5	6,8	5,7	4,9	4,3	3,8	3,4	3,1	2,8	2,6	2,4	2,3	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7
Raíz (I)	468,5		70	29,2	14,6	9,7	7,3	5,8	4,9	4,2	3,7	3,2	2,9	2,7	2,4	2,2	2,1	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5
Captación raíz	36,1		75	24,3	12,2	8,1	6,1	4,9	4,1	3,5	3,0	2,7	2,4	2,2	2,0	1,9	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2
FFB	817,9		80	19,4	9,7	6,5	4,9	3,9	3,2	2,8	2,4	2,2	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0
GNR	1.214,7		85	14,6	7,3	4,9	3,7	2,9	2,4	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7
NNR	1.215,0		90	9,7	4,9	3,2	2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
			95	4,9	2,4	1,6	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
			100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

platos desyerbados de las palmas y sobre las paleras y entre los surcos, dependiendo de los fertilizantes y de la edad de la palma. Los fertilizantes deberán aplicarse sobre las áreas con un mayor número de raíces alimentadoras. Por tanto, casi todos los fertilizantes se aplican dentro del plato de la palma en el caso de palmas inmaduras ya que las raíces aun no están bien extendidas y el área de aplicación se amplía en forma gradual en la medida en que las palmas maduran (Tabla 5).

3. Frecuencia y oportunidad de la aplicación: los resultados de los estudios mostraron que para las palmas completamente maduras, una aplicación de K al año era suficiente para sostener el crecimiento y rendimiento de la palma. No obstante, en la práctica se precisa reducir al mínimo el riesgo de pérdidas después de la aplicación y garantizar que se dispone, todo el tiempo, de una cantidad suficiente de nutrientes. Por tanto, para las palmas inmaduras cuyo crecimiento es rápido pero el sistema radicular aun no está totalmente desarrollado, por lo general se recomienda una mayor frecuencia de aplicación. En contraposición, para las palmas maduras, solo se requiere de una dosis alta de roca fosfórica (RF) al año, debido a su relativa baja solubilidad y a su alto valor residual.

Los resultados de los estudios de escorrentía y de erosión han indicado que casi toda la pérdida de nutrientes en el agua de escorrentía se presenta después de su aplicación, cuando se dan unas pocas lluvias (Tabla 6). Se prefiere realizar la aplicación en los meses que presentan precipitación de moderada a baja. Deberán evitarse los meses húmedos del monzón y los



periodos cuando se puedan presentar condiciones de saturación del suelo. Además, en AAR hemos desarrollado el modelo del “mejor mes” para identificar los meses más apropiados para la fertilización, de acuerdo con la probabilidad de precipitación, que se genera de los datos de precipitación, a largo plazo, para cada plantación.

## INFORMÁTICA, BASE DE DATOS Y SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La ejecución de Infers y de otros sistemas similares (por ejemplo, Guha y Guha, 1997; Fairhurst *et al.*, 2000) para la palma de aceite requiere de una gran base de datos de parámetros tales como registros de rendimiento, insumos de nutrientes, tipos de suelos, historia de precipitación, situación de nutrientes en la hoja y suelo, costos de operación, etcétera. La introducción de la tecnología de la informática y el software de bases de datos de uso fácil, ha facilitado el almacenamiento y manejo de tales bases de datos.

En términos del manejo de los fertilizantes, la aplicación de estas modernas tecnologías a la industria de las plantaciones ha permitido que el concepto teórico de PRS y del equilibrio de nutrientes, se traduzca en sistemas prácticos que pueden implementarse en las plantaciones. Este avance ha permitido en la industria, la transición de un manejo general y extensivo de fertilizantes, a uno intensivo y específico al sitio. Este cambio que ha sido posible por la informática y la tecnología de información, ha abierto el potencial para la agricultura de precisión (Chew, 1997).

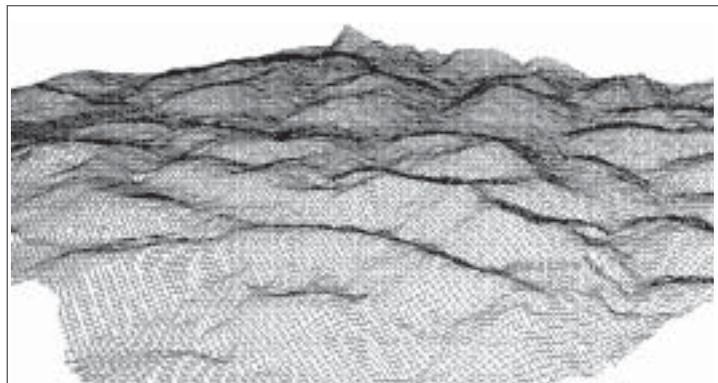
## TECNOLOGÍAS GIS/GPS, APLICACIÓN E IMPACTO EN EL MANEJO DE NUTRIENTES

La aplicación de la tecnología GIS-GPS ha permitido la producción rápida y precisa de mapas digitales en cualquier escala y la presentación gráfica de datos espaciales (por ejemplo, tipo de suelo, rendimiento) para facilitar el análisis e interpretación de los datos.

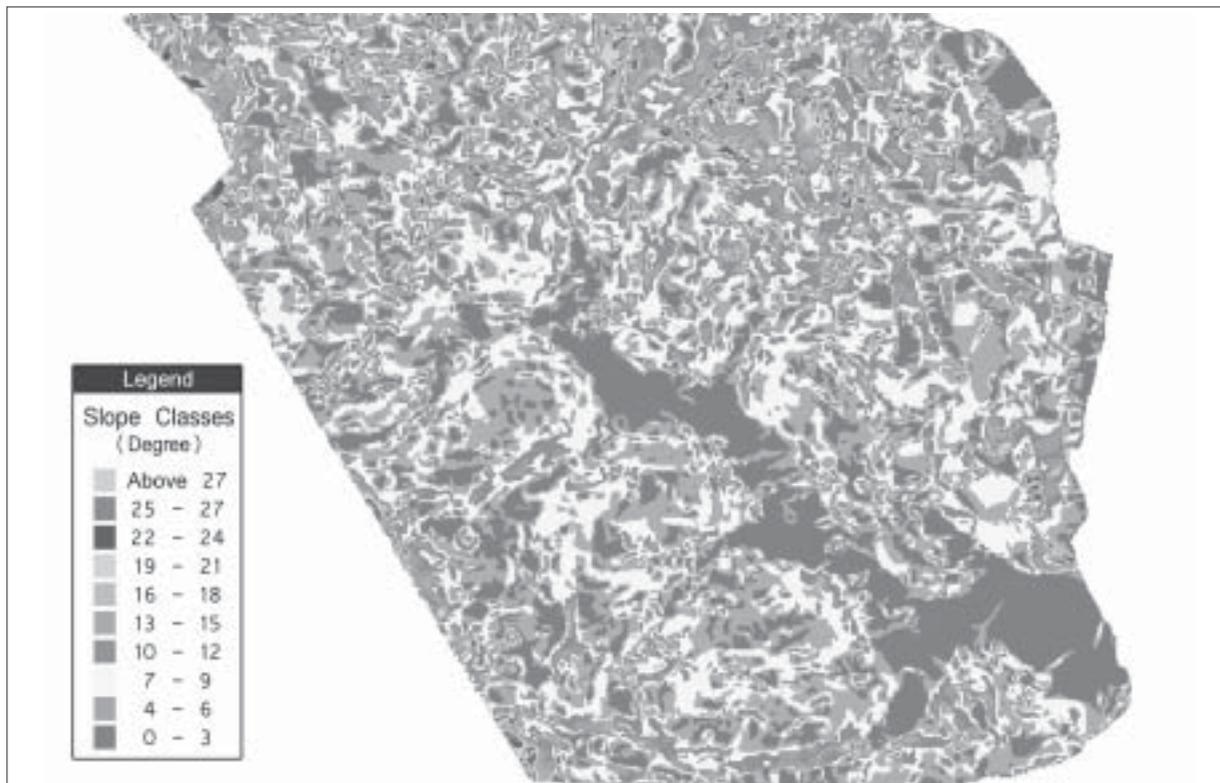
El software sofisticado de procesamiento de imágenes ha permitido generar un modelo de elevación (MED) a partir de imágenes satelitales, fotografías aéreas y mapas topográficos (Tey *et al.*, 2000). En la Figura 6 se presenta un ejemplo de una plantación MED. Además, pueden generarse mapas de pendientes (Figura 7) directamente del MED para toda una gama de aplicaciones tales como la siembra en terrazas y carreteras en terrenos montañosos o el diseño de planes de drenaje para las áreas sujetas a inundaciones.

Los mapas detallados de pendientes derivados de MED permitirán una estimación más precisa del PRS y asimismo, indicar las áreas más propensas a la erosión, a fin de implementar medidas efectivas de control.

Estas nuevas tecnologías han tenido otros usos potenciales como herramientas administrativas (Ooi y Tey, 1998). En términos de un manejo eficiente de los fertilizantes, su principal aplicación e impacto consiste en que se han convertido en herramientas esenciales para la implementación específica al sitio, de los insumos agronómicos y de manejo. Por ejemplo, en la actualidad es posible rastrear y controlar la aplicación de los fertilizantes utilizando un equipo de fumigación montado en un tractor, dotado de un receptor GPS y producir mapas de aplicación de fertilizante como se presenta en la Figura 8. No solamente el sistema indica las áreas que no se trataron durante la aplicación sino que calcula además, la tasa de aplicación al igual que la productividad del equipo. No obstante, aun no se ha comprobado la economía del uso de esta tecnología.



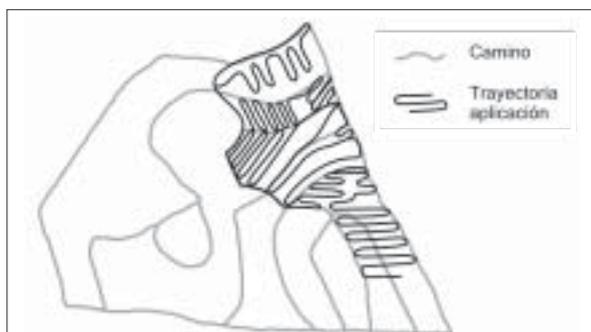
**Figura 6.** Ejemplo de modelo de elevación digital (MED) de una plantación.- representación digital del relieve de las superficies de la tierra (de Tey *et al.*, 2000).



**Figura 7.** Producción de un mapa de pendiente de 5-metros-píxel de una población (de Tey *et al.*, 2000).

## SISTEMA INTEGRADO DE MANEJO AGRONÓMICO (IMA)

Hasta el momento hemos considerado cómo los avances en las últimas dos a tres décadas en la ciencia y agronomía de la palma de aceite han dado forma a



**Figura 8.** Mapa de aplicación de fertilizante que muestra la trayectoria de un tractor con un equipo de aspersión mecánico. Se trazó el camino con un receptor GPS (de Ooi y Tey, 1998)

la transición en el manejo de fertilizantes de un enfoque subjetivo y general a un enfoque objetivo, multidisciplinario y específico al sitio. En gran parte, este avance no hubiera sido posible si no se contara con tecnologías precisas, confiables y económicas de informática, información y GIS. Actualmente, se encuentra disponible un sistema holístico IMA para el manejo de los nutrientes en la palma de aceite (Kok *et al.*, 2000).

En este sistema, Infers se enlaza con una completa base de datos relacional (AA AeGIS™) que almacena toda la información necesaria para calcular las necesidades de fertilizante de las palmas para un sitio dado, teniendo en cuenta los factores del sitio tales como el suelo, terreno, precipitación, rendimientos e historia anterior de fertilización, entre otros factores.

Los módulos GIS/GPS permiten una caracterización más precisa de los sitios y los requisitos para la aplicación equilibrada de nutrientes pueden establecerse de forma precisa, rápida y objetiva para el óptimo crecimiento y rendimiento de las palmas.



Se especifican las fuentes de nutrientes en términos de tipos de fertilizantes y calidad al igual que el método y aplicación a fin de aumentar al máximo la captación y reducir las pérdidas, en el campo, después de la aplicación. Una de las formas más efectivas de reducir las pérdidas y mejorar la eficiencia del fertilizante es a través de una correcta programación de la aplicación en aquellos meses que presentan un riesgo mínimo de perdidas (Kee y Chew, 1996).

El módulo de los “mejores meses, oportunidad y asignación” determina el mejor mes y asigna las tasas y una programación para la aplicación. Finalmente, se genera un informe exhaustivo con recomendaciones específicas al sitio y con referencias precisas de ubicación con mapas anexos de GPS. Algunos ejemplos de los informes que se pueden generar con nuestro sistema IMA, se presentan en las tablas 7 y 8.

Con el sistema actual IMA, se han resuelto muchas de las dificultades prácticas asociadas con la implementación del manejo de nutrientes específico al sitio y las prácticas agronómicas. Aunque no es perfecto, el sistema IMA “parece ser el mejor disponible en la actualidad” (Tinker, 2000). Se establecen metas realistas de rendimiento, se calcula la demanda de nutrientes de las palmas y se formulan las necesidades de fertilizante con sumo cuidado, para satisfacer la demanda estimada de la palma, teniendo en cuenta las características del sitio y los nutrientes reciclados en los residuos de la palma y en los subproductos de la planta extractora. Las pérdidas se reducen al mínimo y la eficiencia se aumenta al máximo a través de una aplicación correcta y oportuna de fertilizantes. Por tanto, el impacto neto es una reducción en las pérdidas, menos desperdicio, mayor eficiencia y productividad que mejoran la rentabilidad y sostenibilidad.

**Tabla 7.** Ejemplo de un informe del sistema IAM que muestra el rendimiento real versus el PRS proyectado.

**APPLIED AGRICULTURAL RESOURCES SDN. BHD.**

**ESTATE K**

**Assessment Of Current Yield In Relation To SYP(M)**

**18/08/2006**

Manuring & Estate Block	Current		Actual Yield (t/ha/yr) For Year End Jun				Actual ASYP			
	Age	Ha	2004	2005	2006	3Yr Mean	2004	2005	2006	2007
1 PM1984A 1	22	28.0	29.2	31.7	29.0	30.0	29	29	29	0
1 PM1985A 1	21	38.0	30.5	32.5	31.9	31.8	35	35	34	0
1 PM1986A 1	20	78.0	29.0	29.2	28.3	28.9	33	33	33	0
1 PM1987A 1	19	51.0	30.8	31.6	30.1	30.8	35	34	34	0
1 PM1987A 2	19	24.0	30.8	31.6	30.1	30.8	35	35	34	0
1 PM1988A 1	18	32.0	28.1	27.7	30.1	28.6	34	34	31	0
1 PM1988B 1	18	18.0	28.1	27.7	30.1	28.6	33	33	31	0
1 PM1989A 1	17	49.0	32.2	31.5	31.9	31.9	33	33	33	0
1 PM1989B 1	17	54.0	35.0	34.6	31.9	33.9	34	33	33	0
1 PM1990A 1	16	27.0	32.5	31.6	32.8	32.3	35	35	35	0
1 PM1990B 1	16	45.0	31.0	31.6	31.4	31.3	33	33	32	0
1 PM1991A 1	15	35.0	35.6	34.2	33.8	34.5	31	31	36	0
1 PM1992A 1	14	35.0	34.1	33.8	31.9	33.3	40	40	35	0
1 PM1992B 1	14	21.0	33.1	32.5	32.3	32.6	33	33	35	0
1 PM1993A 1	13	13.0	32.5	33.5	28.8	31.6	33	33	34	0
1 PM1995A 1	11	16.0	36.9	36.4	34.3	35.9	33	33	37	0
1 PM1995A 2	11	12.0	36.9	36.4	34.3	35.9	33	33	37	0
1 PM1997A 1	9	21.0	32.7	29.6	28.1	30.1	32	35	34	0
1 PM1998A 1	8	13.0	29.0	28.9	27.0	28.3	25	28	30	0
1 PM1998B 1	8	13.0	29.0	28.9	27.0	28.3	27	30	32	0
1 PM1998C 1	8	13.0	29.0	28.9	27.0	28.3	23	26	28	0
1 PM2000A 1	6	16.0	21.0	26.6	30.7	26.8	20	26	31	0
1 PM2000B 1	6	28.0	17.0	26.1	26.7	23.3	16	22	29	0
1 PM2000C 1	6	30.0	14.7	23.4	27.1	21.7	17	23	28	0
Weighted Mean(Age<7)		74.0	17.0	25.5	27.7	23.4	17	23	26	
Weighted Mean(7<=Age<13)		88.0	32.4	31.7	29.6	31.2	25	31	32	
Weighted Mean(13<=Age<19)		329.0	32.2	32.0	31.7	32.0	34	34	33	
Weighted Mean(Age>=19)		217.0	29.4	30.5	29.6	29.8	34	32	32	
Weighted Mean(All)		708.0	30.1	31.0	30.4	30.5	31	32	32	

Starting from 2004, ASYP is computed using all available rainfall records for the estate. Prior to 2004, only the latest 10 years rainfall record was used.

**Tabla 8.** Ejemplo de un informe del sistema IAM que utilizan los agrónomos para evaluar las condiciones de la palma y del terreno antes de formular las recomendaciones de fertilizante para el año próximo.

**APPLIED AGRICULTURAL RESOURCES SDN. BHD.**

**ESTATE A**

**Manuring Block History Report**

<b>Block</b> : 1 PM1999C		<b>Density</b> : 125		<b>Soil</b> : HARIMAU LOCAL ALLUVIUM	
<b>Hectarage</b> : 80.14		<b>Planting Material</b> : DxP HRU		<b>Planting Distance</b> : @	

**Soil Analysis Results**

Year	Area	Depth (cm)	pH		C (%)	N (%)	C/N Ratio	P (ppm)		Exch. cations			CEC (m.e.%)	Remarks
			Water					Total	Avail.	K	Ca	Mg		
1991	IR	0-15	5.15		1.23	0.11	11.18	42	10.30	0.09		0.15	3.40	
1991	IR	15-45	5.11		1.02	0.08	12.75	25	10.70	0.08		0.13	2.80	
2000	PC	0-15	4.45					320	89.70	0.30		0.30		
2000	PC	15-45	4.09					104	18.80	0.22		0.14		
2006	PC	0-15	5.87					340	27.20	0.15		0.90		
2006	PC	15-45	5.68					172	17.90	0.39		0.63		
2006	IR	0-15	5.60		1.38	0.11	12.55	140	12.00	0.05	1.06	0.51	2.30	
2006	IR	15-45	5.81		1.12	0.09	12.44	104	7.70	0.04	0.69	0.44	2.10	

**Leaf Analysis Results**

Year	Ash	N	P	K	Mg	Ca	B	Cl	Canopy				Nutrients applied (kg/palm)					
									LA	Dry Wt	LAI	Size	Vig.	N	P2O5	K2O	MgO	Minor
2001	7.08	2.27	0.159	0.91	0.28	0.80				4.61		7	7	1.36	1.02	2.73	0.70	0.00
2002	5.54	2.45	0.151	0.93	0.28	0.82				6.03		7	7	1.10	0.20	3.47	0.22	0.41
2003												7	7	1.04	1.00	2.16	0.32	0.05
2004	6.01	2.66	0.157	0.91	0.28	0.71	18.60			5.21		6	7	1.04	0.48	2.16	0.32	0.05
2005	6.02	2.52	0.150	0.81	0.29	0.87				4.84		7	7	1.04	0.48	2.16	0.96	0.05
2006	5.61	2.59	0.168	0.83	0.28	0.90	16.00							1.04	0.48	2.16	0.32	0.05

**Yearly FFB Yield (t/ha)**

Year	Density	FFB/ha	Bch/ha	Av. Wt.	SYP	Rainfall	
						mm	Days
2001	155	29.23	1563	18.70	30.45	3015	168
2002	155	28.89	1387	20.83	30.98	2080	155
2003	155	32.88	1553	21.04	32.37	2752	159
2004	155	34.44	1673	20.59	32.29	2815	146
2005	125	31.00	1580	19.62	34.13	2110	143
7-2006	125	18.86	923	20.43	33.17	1575	86

**Yearly FFB Yield (t/ha)**

Legend: ■ Act, ■ SYP

Size	Canopy		Palm			Soil			Management Practices					Yield	
	Vig.	Frd.No	Uni.	Loss	Etrol.	T-Soil	Cons	Drain	Legume	PC	IR	F.App	Pruning	Bch/p	Rec.
1	1	<=8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	City	1	1
2	2	9~16	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2
3	3	17~24	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3
4	4	24~32	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4
5	5	>=33	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4		5
6	6	Mature	Comments : _____												
7	7	<=33													
8	8	33~37													
9	9	38~41													
10	10	42~45													
10	10	>=46													

**Deficiency Symptoms**

Nutri.	Slight		Moderate		Severe		Correction Required
	Few	Many	Few	Many	Few	Many	
N							
K							
Mg							
B							
Other							



## RECICLAJE DE LOS RESIDUOS DE LA PALMA Y DE LOS SUBPRODUCTOS DE LA PLANTA EXTRACTORA

Cada año, solo una pequeña porción del total de los nutrientes inmovilizados por la palma, se exporta en sus productos económicos tales como los aceites de palma y palmiste (Corley y Tinker, 2003). Por tanto, existen oportunidades de reciclar los nutrientes contenidos en los residuos del cultivo (Redshaw, 2003). El reciclaje de los residuos de la palma (paleras, residuos de troncos de la resiembra) y de los subproductos de la planta extractora (efluente de planta extractora, raquis, torta del decantador, etc.) tiene numerosos beneficios y ventajas y es un componente clave de la sostenibilidad del cultivo (Fairhurst y Mutert, 1997).

Cantidades significativas de nutrientes se reciclan anualmente en la plantación a través de las paleras (Tabla 9). La liberación de nutrientes de las paleras es rápida y toma unas 24 semanas y se recicla casi 14 y 24% de las necesidades anuales de N y K de una plantación madura de alto rendimiento de palma de aceite (Kee y Chew, 1997).

Una práctica estándar en muchas plantaciones es la cubierta orgánica con raquis que permite ahorros importantes en los costos de fertilizantes inorgánicos. Asimismo, se recicla el efluente de la planta extractora y la torta de decantación, como fertilizantes orgánicos especialmente en plantaciones con una planta extractora local. Aparte de los ahorros que se obtienen de la sustitución de los fertilizantes inorgánicos, el reciclaje de estos materiales orgánicos recupera el contenido de materia orgánica del suelo y mejora la estructura del suelo, al igual que la actividad microbiana. Además, se reduce su erosión y se conserva o mejora la calidad del mismo.

**Tabla 9.** Contenido de nutrientes en las paleras de las palmas de aceite maduras (Kee y Chew, 1997)

hojas part	N	P	K	Mg
	kg/ha/año			
Foliolo	66	4	29	6
Raquis	10	2	49	3
Pecíolo	6	1	24	2
Total	82	7	102	11

Recientemente, AAR y Boustead Plantations desarrollaron una novedosa tecnología de compostaje (Ooi *et al.*, 2006 y este resumen). Esta nueva tecnología, cuya patente está pendiente, está diseñada para transformar todo el efluente producido en la planta extractora en fertilizante orgánico, mediante el uso del secado biológico y utilizando la tusa para agregar volumen. Con esta nueva tecnología, ya no se precisará utilizar las lagunas tradicionales de efluentes anaeróbicos (excepto un pequeño tanque de almacenamiento) y se elimina la emisión asociada de metano. Esta verdadera innovación de “cero desperdicio, cero descarga” deberá mejorar el reciclaje de nutrientes, ayudar a proteger los cursos de agua y el medio ambiente y mejorar la sostenibilidad de las plantaciones de palma de aceite.

Una práctica actual que se utiliza en Malasia, es la resiembra con quema cero, debido a la legislación que prohíbe la quema abierta. En el momento de la resiembra, la entrada súbita de este enorme *pool* de nutrientes (Tabla 10), en especial K no podrá ser captado completamente por la siguiente generación de palmas jóvenes. Una forma de resolver este problema sería a través de la reducción/retiro de las aplicaciones de fertilizante (por ejemplo, N y K) hasta tres años antes de la tala de la palma (Nazeeb *et al.*, 1995; Teo *et al.*, 2000). No obstante, los resultados de los ensayos sugieren que aun existe una relación costo-eficiencia de la aplicación de fertilizantes hasta un año antes de la tala.

Una estrategia alternativa es la de establecer tan pronto como sea posible, después de la tala, un cultivo denso de cobertura de leguminosas, para inmovilizar los nutrientes liberados de la biomasa del rodal antiguo. No obstante, este *pool* de nutrientes es de gran tamaño y no se podrá aprovechar una gran proporción de los nutrientes; por tanto, es preciso

**Tabla 10.** Contenido de nutrientes en las paleras de las palmas de aceite maduras (Kee y Chew, 1997)

Parte	N	P	K	Mg
Planta	kg/ha			
Troncos	250	25	350	60
Paleras	150	15	150	30
Total	400	40	500	90
Equivalente	870	305	1000	552
Fertilizante	urea	RP	MOP	Ks

dar prioridad al desarrollo de un enfoque que permita su conservación (Corley y Tinker, 2003).

Gurmit (2003) ha estimado que en Malasia, la utilización de los residuos de la biomasa de la palma de aceite con base en la materia seca, era alrededor del 90% en 2001, principalmente como nutrientes y cubierta orgánica (Tabla 11). El valor total estimado como fertilizante, de los residuos de biomasa reciclados, representó RM1.550 millones. El valor sería mucho mayor si se consideran los precios actuales de los fertilizantes.

## MANEJO EFICIENTE DE LOS FERTILIZANTES Y BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS

El manejo eficiente de los fertilizantes también incluye la necesidad de reducir las pérdidas potenciales y maximizar la captación del nutriente después de su aplicación. Las buenas prácticas agrícolas (BPA) fomentan un buen medio de crecimiento para las palmas, a fin de mejorar la captación de nutrientes. Las prácticas que conservan y mejoran la calidad natural del suelo (Chew *et al.*, 1999) también mejorarán indirectamente la eficiencia del fertilizante.

Los nutrientes/fertilizantes están sujetos a pérdidas después de la aplicación, por ejemplo, erosión y escorrentía superficial, lixiviación, volatilización, fijación del suelo e inmovilización por parte de las malezas y cobertura del suelo. Las pérdidas son más altas durante las fases críticas de la siembra. Así, el potencial de pérdida de nutrientes probablemente es mayor inmediatamente después del desbroce, cuando el suelo está expuesto a la erosión y escorrentía sin con-

trol. Además, el riesgo de pérdida es mayor en áreas con topografía pendiente mientras que las pérdidas por lixiviación están asociadas a los suelos de textura gruesa en áreas de alta precipitación. A continuación, se presentan algunas prácticas importantes para reducir al mínimo las pérdidas:

1. Prácticas de conservación del suelo: por lo general, una práctica estándar es la siembra de un cultivo de cobertura de leguminosas, tan pronto como se desbroza el terreno. El cultivo de cobertura conserva la capa superior del suelo y evita la erosión, además recupera la calidad del suelo al mejorar el N del suelo y la materia orgánica, la estructura del suelo y la tasa de infiltración. Se espera que la introducción de *Mucuna bracteata*, una leguminosa tolerante a la sombra, en los últimos años (Mathews, 1998; Mathews y Leong, 2000) mejore la eficiencia del fertilizante al reducir la dependencia de la palma de los fertilizantes N inorgánicos.

La construcción de las terrazas de siembra y conservación es una necesidad básica cuando se siembra en suelos con pendiente (Kee y Soh, 2002). Por lo general, las terrazas de siembra se construyen cuando las pendientes son  $> 12^\circ$ , mientras que las terrazas de conservación se utilizan cuando las pendientes son mayores a  $6^\circ$ . Las terrazas reducen la longitud de la pendiente y la velocidad de la escorrentía y erosión se reduce a niveles más manejables. Los camellones construidos a intervalos regulares, a lo largo de las terrazas, permitirán aumentar la efectividad de las terrazas al reducir el flujo lateral y la escorrentía.

**Tabla 11.** Nivel estimado de uso de biomasa de palma de aceite (base materia seca) y valor del fertilizante en biomasa reciclada en el suelo en Malasia en 2001

Biomasa	Cant (M t) producidas	Cant (M t) utilizadas	% utilización	Método utilización	Fert equivalente en utilizada '000 t			
					urea	RP	MOP	Kies.
Paleras	31,2	29,6	95	Cobertura	669,0	185,0	794,2	296,0
Tronco+paleras en resiembra	5,3	4,5	85	Cobertura	56,3	16,2	72,4	34,5
Flores masculinas	3,7	3,7	100	Materia Org,	121,7	78,8	218,7	113,6
EFB	4,7	3,3	70	Cobertura + ceniza racimo	43,5	15,7	121,2	27,7
Digerido Pome	2,1	1,2	57	Fert,Org,	41,8	22,7	65,6	48,0
cuezco+fibra	8,4	7,6	91	combustible	-	-	-	-
Total	55,4	49,9	90		932,3	318,4	1272,1	519,8
Valor (RM en millones)					526,7	82,8	730,1	206,9



Además del reciclaje de nutrientes, las paleras y el raquis son excelentes como cobertura orgánica para la conservación del suelo. Se ha demostrado que las paleras reducen la pérdida del suelo entre 30-50% en los terrenos con pendientes suaves (Kee y Chew, 1996) y hasta en 77% en terrenos más pendientes (Soon y Hoong, 2002). La cobertura orgánica también mejora la retención de la humedad del suelo y reduce la compactación en la superficie del suelo. Las paleras y raquis deberían colocarse en posición transversal a la pendiente y cubrir un área lo más amplia posible para lograr una mayor efectividad.

2. Manejo de la cobertura del suelo: otro período crítico se presenta cuando existe un gran riesgo de pérdida, debido a vegetación escasa en el suelo, por el sombreado del dosel de la palma. El raleo de las palmas muy altas, etioladas e improductivas no solo mejorará el rendimiento sino que alentará la regeneración de la cobertura del suelo. Salvo el caso de los platos y caminos, una práctica estándar consiste en mantener una cobertura razonable de gramíneas blandas y helechos durante toda la vida productiva de las palmas a fin de reducir al mínimo la erosión superficial.
3. Anteriormente se examinaron otras buenas prácticas agrícolas relacionadas con el manejo eficiente de fertilizantes, tales como la quema cero, el manejo de residuos y el reciclaje de nutrientes.

Es preciso subrayar que la respuesta óptima a los nutrientes aplicados no será evidente si no existen factores limitantes primarios tales como un mal drenaje, el estrés por humedad o la alta densidad, etcétera. Es crucial identificar cualquier limitación primaria y proceder a corregirla, antes de la aplicación de fertilizante.

## TENDENCIAS Y NECESIDADES FUTURAS

El énfasis y el camino a seguir deben ser la adopción y aplicación de nuevas tecnologías y el uso de los últimos resultados científicos que permitan hacer ajustes a las mejores prácticas actuales, para garantizar que seguirán siendo eficientes y sostenibles en el futuro. La I&D continuos es un importante motor para el logro de estas metas y por tanto debe recibir el apoyo y prioridad necesarios.

A continuación se presentan algunas sugerencias sobre necesidades básicas y fundamentales de investigación para el futuro a fin de alcanzar el manejo eficiente de nutrientes y la sostenibilidad:

1. Es preciso elaborar y hacer ajustes, en los enfoques específicos al sitio, para mantener la fertilidad del suelo a largo plazo y el uso eficiente de los costosos fertilizantes minerales. El objetivo es conservar, a un nivel óptimo, la fertilidad del suelo y el suministro de nutrientes a la planta, a fin de mantener la productividad deseada del cultivo a través de la optimización de los beneficios de las diversas fuentes posibles de nutrientes, de una manera integrada.
2. Aumentar el reciclaje de los residuos de la biomasa de la palma y los subproductos de la planta extractora para mejorar la eficiencia en el reciclaje y utilización de nutrientes.
3. Un mayor aprovechamiento de los procesos biológicos, por ejemplo, la fijación de N por parte de las leguminosas de cobertura, la inoculación directa de organismos fijadores de N, las asociaciones de micorriza, etc., para reducir la dependencia de los fertilizantes inorgánicos y mejorar la captación y utilización de nutrientes.
4. Mejores técnicas para evaluar el suministro de nutrientes al suelo.
5. Selección y desarrollo de materiales vegetales de alto rendimiento, eficientes en el uso de los nutrientes, incluidos los clones.
6. La aprobación y desarrollo de sistemas de manejo agronómico integrado (MAI) para acelerar la toma de decisiones y facilitar la implementación de prácticas de manejo de nutrientes específicas al sitio y de precisión.
7. El desarrollo y uso de indicadores apropiados de la calidad del suelo (Haynes, 2003) y la eficiencia en el uso de nutrientes para permitir el control y evaluación del progreso y la sostenibilidad.

## CONCLUSIÓN

En muchas situaciones, los fertilizantes aun siguen siendo el factor limitante principal para lograr altos rendimientos. Además, constituye el insumo de mayor

costo en la producción de palma de aceite. La evaluación precisa de las necesidades de fertilizante para mantener el rendimiento económico máximo y el aporte de nutrientes para satisfacer estas necesidades, es la base del manejo eficiente de los fertilizantes. El concepto del potencial de rendimiento del sitio (PRS) permite establecer una meta de rendimiento objetiva y realista y además ayuda a promover el enfoque multidisciplinario para lograr el máximo rendimiento. El enfoque del equilibrio de nutrientes brinda una base lógica y cuantitativa para la estimación de las necesidades de nutrientes al igual que el marco para el manejo de fertilizantes, específico al sitio. Un plan eficiente, integrado y equilibrado de manejo de nutrientes requiere que cada nutriente se suministre en cantidades suficientes y se aplique de una forma que maximice su recuperación (en términos de tasas, oportunidad, aplicación, frecuencia, etcétera). Los subproductos ricos en nutrientes y la biomasa de la palma deben aprovecharse completamente para reducir la dependencia de costosos fertilizantes inorgánicos.

Se ha desarrollado Infers, un sistema integrado, específico al sitio que recomienda el uso de fertilizantes e integra el concepto de PRS con el enfoque del equilibrio de nutrientes. La disponibilidad de sistemas confiables, económicos, fáciles de usar de GPS/GIS y tecnología moderna de manejo de la información ha mejorado nuestra capacidad de planear y aplicar prácticas específicas al sitio en las plantaciones y controlar y simular los impactos de estas prácticas.

Tanto los agrónomos como los propietarios deben aprovechar todas las nuevas tecnologías comprobadas y los avances (Ng *et al.*, 2000) a fin de aumentar la productividad y eficiencia y reducir los costos de producción.

Las buenas prácticas agrícolas, por ejemplo, la conservación del suelo y el agua, la cobertura de leguminosas, el reciclaje de nutrientes a través de la cobertura de tusa y la aplicación de efluentes de la planta extractora, etc., contribuyen a mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes.

No obstante, aun no se tiene un sustituto para la cuidadosa atención de todos los detalles de manejo del campo y la preparación del terreno, siembra y mantenimiento. Esta es la base de la alta productividad, eficiencia y finalmente la sostenibilidad de la palma de aceite. Por tanto, siempre es importante que los aspectos básicos salgan bien. Se precisa el compromiso para garantizar que incluso el trabajo de rutina se realice de forma apropiada.

## AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro reconocimiento a los directores, a Boustead Plantations Bhd. y KL-Kepong Bhd., por concedernos el permiso de presentar este artículo. Agradecemos a nuestros colegas en AAR por sus comentarios y sugerencias en la presentación de este artículo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Chew, PS. 1997. Prospects for precision plantation practices in oil palm. *The Planter* 74:661-683.
- Chew, PS; Kee, KK; Goh, KJ. 1999. Cultural practices and their impact. *In: Oil palm and the environment - a Malaysian perspective.* (Gurmit, S. *et al.*, eds) Malaysian Oil Palm Growers' Council (MOPGC), Kuala Lumpur: 55-82.
- Chew, PS; Kee, KK; Goh, KJ; Quah, YT; Tey, SH. 1992. Fertilizer management in oil palms. *In: Proc. Int. Conf on Fert. Usage in the Tropics.* (Aziz B, ed.) MSSS, Kuala Lumpur, 1994, 43-64
- Corley, RHV. 1985. Yield potentials of plantation crops. *In: Potassium in the Agricultural systems of the humid tropics.* 19<sup>th</sup> Colloquium of the Int. Potash Institute. Bangkok, Thailand. 1985. IPI, Basel (Switzerland): 61-80.
- Corley, RHV; Tinker, PB. 2003. The oil palm. 4<sup>th</sup> edition. World Agriculture Series. *Blackwell Science.* 562 pp.
- Fairhurst, T. 2003. Environmental aspects of fertilizer management in oil palm. *In: Good agricultural practice and food safety management in palm oil industry.* Proc. MPOA seminar 2003. MPOA. Kuala Lumpur: 36-65.
- Fairhurst, T; Mutert, E. 1997. The industrial use of oil palm fibre: possible effects on plant nutrient cycles and sustainability. *In: Plantation Management in the 2<sup>nd</sup> Century. Proc. 1997 Int. Planters Conf.* (Pushparajah E, ed). ISP, K.L: 209-230.
- Fairhurst, TH; Kerstan, AG; Rankine, IR; Kuruvilla, KJ. 2000. Use of Geographical Information system in Plantation agriculture: Linking digital maps to agronomic database sets. *In: Proc. ISP Conference on Plantation Tress crops in the new millennium: the way ahead.* (Pushparajah E, ed). ISP, KL: 755-768
- Goh, KJ. 2004. Fertilizer recommendation systems for oil palm: estimating the fertilizer rates. *In: Proceedings of MOSTA best practices workshops 2004: Agronomy and crop management.* (Chew PS and Tan YP eds.) Mosta, Petaling Jaya, Selangor: 235-268.





- Goh, KJ; Hardter, R; Fairhurst, T. 2003. Fertilizing for maximum return. In: *Oil palm – management for large and sustainable yields*. (Fairhurst, T; Hardter, R eds.) PPI/PPIC and IPI: 279–306.
- Goh, KJ; Kee, KK; Chew, PS; Gan, HH; Heng, YC; Ng, HCP. 2000. Concept of site yield potential and its applications in oil palm plantations. *Malaysian Oil Science and Technology* (Most) 11 (2): 57–63.
- Guha, A; Guha, J. 1997. Design of a plantation agriculture expert system for oil palm. In: *Proc. 1997 Int. Planters Conf. – Plantation Management for the 21<sup>st</sup> Century*. (Pushparajah E, ed). ISP, KL: 61–78.
- Gurmit Singh. 2003. The Malaysian oil palm industry: progress towards environmentally sound and sustainable crop production. In: *Good agricultural practice and food safety management in palm oil industry*. Proc. MPOA seminar 2003. MPOA. Kuala Lumpur: 250–263.
- Haynes, RJ. 2003. Soil quality evaluation for increased oil palm yield production. In: *Palm oil: the power-house for the global oils and fats economy*. Proc. Int. Palm Oil Congress (Pipoc) 2003. MPOB. Kuala Lumpur: 7–22.
- Henson, IE. 1999. Comparative ecophysiology of oil palm and tropical rainforest. In: *Oil palm and the environment – a Malaysian perspective*. (Gurmit, S. et al., eds) Malaysian Oil Palm Growers' Council (MOPGC). Kuala Lumpur. 9–39.
- Kee, KK; Chew, PS. 1996. Nutrient losses through runoff and soil erosion – implications for improved fertilizer efficiency in mature oil palms. In: *Proc. Porim 1996 Int. PO Congress*. (Ariffin et al., eds). Porim, KL. 153–169.
- Kee, KK; Chew, PS. 1997. Nutrient recycled from pruned fronds in mature oil palms (*E. guineensis* Jacq). In: *Plant nutrition – for sustainable food production and environment*. (Ando, T. et al., eds). Kluwer Academic Pub. Tokyo (Japan): 601–602.
- Kee, KK; Soh, AC. 2002. Management of oil palms on slope lands in Malaysia. In: *Proc. Of 2002 Int. oil palm conf. Bali (Indonesia)*. Iopri. (Preprint).
- Kee, KK; Goh, KJ; Chew, PS; Tey, SH. 1994. An integrated site-specific fertilizer recommendation system (Infers) for high productivity in oil palm. In: *Management for enhanced profitability in Plantations*. (Chee, KH. ed) Incorporated Soc. Of Planters (ISP). Kuala Lumpur: 83–100.
- Kee, KK; Chew, PS; Gan, HH; Goh, KJ. 1998. Validation of a site yield potential model for oil palms in Malaysia. In: *Proc. Of 1998 Int. oil palm conf. Bali*. (Angga, J. et al., eds.) Iopri. Medan: 150–163.
- Kee, KK; Goh, KJ; Chow, KC; Teo, L. 2004. Improvement of efficiency of fertilizer applications. In: *Proceedings of Mosta best practices workshops 2004: Agronomy and crop management*. (Chew, PS; Tan, YP. eds.) Mosta. Petaling Jaya (Selangor): 269–291.
- Kok, TF; Goh, KJ; Chew, PS; Gan, HH; Heng, YC; Tey, SH; Kee, KK. 2000. Advances in oil palm agronomic recommendations. In: *Proc. ISP Conference on Plantation Tress crops in the new millennium: the way ahead*. (Pushparajah, E; ed). ISP, KL: 215–232.
- Matthews, C. 1998. The introduction and establishment of a new leguminous cover crop, *Mucuna bracteata* under oil palm in Malaysia. *The Planter* 74 (868): 359–368.
- Matthews, J; Leong, TT. 2000. Performance of 2 new legume species in oil palm planting. In: *Proc. ISP Conference on Plantation Tress crops in the new millennium: the way ahead*. (Pushparajah, E. ed). ISP, KL: 325–340.
- Nazeeb, M; Tang, MK; Letchumanan, A; Loong, SG. 1995. Trials on cessation of manuring before replanting. In: *Proc. Int. Palm Oil Congress (Pipoc) 1993*. (Jalani et al., eds). MPOB. Kuala Lumpur: 293–312.
- Ng, PHC; Chew, PS; Goh, KJ; Kee, KK. 1999. Nutrient requirements and sustainability in mature oil palms an assessment. *The Planter*: 75: 331–345.
- Ng, PHC; Chew, PS; Goh, KJ; Gan, HH; Heng, YC. 2000. Planter's toolbox in the 21<sup>st</sup> century. In: *Proc. ISP Conference on Plantation Tress crops in the new millennium: the way ahead*. (Pushparajah, E. ed). ISP, KL: 717–738.
- Ng, SK. 1977. Review of oil palm nutrition and manuring – scope for greater economy in fertilizer usage. In: *Int. development in oil palm*. (Earp, DA; Newal, W. eds.) ISP. Kuala Lumpur: 209–233.
- Ng, SK; Thong, KC. 1985. Nutrient requirement for exploiting yield potentials of major plantation crops in the tropics. In: *Proc. 19<sup>th</sup> Coll. Int. Pot. Inst. Potassium in the Agricultural Systems of the Humid tropics*. IPI. Bangkok: 81–95.
- Ooi, LH; Tey, SH. 1998. Applications of GPS and GIS in oil palm estates. In: *Proc. Nat. Sem. On mechanization in oil palm plantation "Towards improving productivity through mechanization"*. Porim. Bangi. (Preprint).
- Ooi, LH; Lee, KH; Chan, KS; Ho, CW; Vijayarajan, V. 2006. Zero-waste zero-discharge method of treating palm oil mill effluent and empty fruit bunch. *Paper presented at the 2006 Int. Oil Palm Conference, 20–24 June 2006, Bali*. (Preprint).
- Pushparajah, E; Chew, PS. 1998. Integrated nutrient management for sustaining high yields of plantation tree crop in tropical Asia. In: *Proc. Soil Sc. Conf. of Malaysia*. (Shamshuddin, J; Fauziah, I. eds.) MSSS, Serdang Selangor: 94–116.
- Redshaw, M. 2003. Utilization of field residues and mill by-products. In: *Oil palm – management for large and sustainable yields*. (Fairhurst, T; Hardter, R. eds.) PPI/PPIC and IPI: 307–320.
- Soon, BBF; Hoong, HW. 2002. Agronomic practices to alleviate soil surface runoff losses in oil palm. In: *Proc 2002 Nat. MSSS Conf. Perlis*. (Preprint).
- Tarmizi, AM; Tayeb, MD; Hamdan, AB. 2004. Oil palm nutrient requirements. In: *Proceedings of Mosta best practices workshops 2004: Agronomy and crop management*. (Chew, PS; Tan, YP. eds.) Mosta, Petaling Jaya (Selangor): 221–234.
- Teo, L; Ong, KP; Zainuriah, A. 2000. Effects of fertilizer withdrawal prior to replanting on oil palm performance. In: *Proc. ISP Conference on Plantation Tress crops in the new millennium: the way ahead*. (Pushparajah, E. ed). ISP, K.L: 233–250.
- Tey, SH; Goh, KJ; Chew, PS. 2000. Digital Elevation Model (DEM) for site Specific Management. In: *Proc. ISP Conference on Plantation Tress crops in the new millennium: the way ahead*. (Pushparajah, E. ed) ISP, K.L: 739–754.
- Tinker, PB. 1984. Site-specific yield potentials in relation to fertilizer use in nutrient balances and fertilizer needs in temperate agriculture. In: *Proc. 18<sup>th</sup> Coll. Int. Potash Inst.* (von Peter, A. ed.) (Bern): 193–208.
- Tinker, PB. 2000. The future research requirements for the oil palm plantation. In: *Proc. ISP Conference on Plantation Tress crops in the new millennium: the way ahead*. (Pushparajah, E. ed). ISP, KL: p 3–40.
- von Uexkull, HR; Fairhurst, T. 1991. Fertilizing for high yields and quality: the oil palm. *IPI bulletin*. Int. Potash Inst. Basel (Switzerland): (12).