

Mejores prácticas de manejo en la fertilización de palma de aceite para la intensificación sostenible



T. Oberthür

Programa del Sudeste Asiático del IPNI
t.oberthur@gmail.com

J. Cock

Consultor del Programa del Sudeste Asiático del IPNI

C.R. Donough

Programa del Sudeste Asiático del IPNI

Rahmadsyah

Wilmar International Limited;
Gatot Abdurrohim

PT Sampoerna Agro Tbk

Kooseni Indrasuara

Instituto de Investigaciones Agrícolas Bakrie (BARI), PT Bakrie Sumatera Plantations Tbk;

Ahmad Lubis

Permata Hijau Group

Tenri Dolong

PT REA Kaltim Plantations

Better Management Practices in Oil Palm Fertilization for Sustainable Intensification



Resumen

Este trabajo primero introducirá los conceptos y principios para el manejo sostenible de nutrientes en los sistemas de plantaciones de palma de aceite. Se presenta el proceso de los análisis de brechas de productividad como base para la intensificación sostenible de estos sistemas, y se evalúa la nutrición de la palma de aceite dentro de este marco. Para ello, se analiza el papel de los nutrientes y de los balances de nutrientes en los sistemas de producción de palma de aceite, y se documenta la importancia de la fertilización para obtener alta productividad. Se presentan y se discuten los indicadores de manejo que ayudan a la nutrición de la palma de aceite, incluidos la prueba de suelos y el análisis de plantas, así como las proporciones de nutrientes, ya que se relacionan con la intensificación sostenible. Finalmente, las mejores prácticas de manejo (MPM) de la nutrición se relacionan con los aspectos biológicos de la formación de rendimientos para aclarar cómo dichas prácticas contribuyen a la intensificación de la productividad mediante “tomar rendimientos” (“yield taking”) y “hacer rendimientos” (“yield making”).

En la segunda parte de este trabajo, se ilustran estos conceptos y principios generales con ejemplos y resultados de proyectos de MPM que el Programa del

Palabras CLAVE

Producción de palma de aceite, intensificación, nutrición, mejores prácticas de manejo, brecha de rendimiento

Oil palm production, intensification, nutrition, better management practices, yield gap

Traducido por Fedepalma

Versión original en inglés en el Centro de Información de Fedepalma



Sudeste Asiático del Instituto Internacional de Nutrición de Plantas maneja conjuntamente con plantaciones socias en esa región. Se demuestra el éxito del enfoque de intensificación desarrollado, con resultados de productividad de racimos de fruto fresco y aceite, y se proporciona información sobre los impactos de este enfoque en la calidad del suelo. Se discute la pertinencia global de estos hallazgos para la industria y, por último, se presenta I&D complementario.

Abstract

This paper will first introduce the general concepts and principles for sustainable nutrient management in oil palm plantation systems: We present the process of yield gap analyses as the base for sustainable intensification of oil palm plantation systems, and assess oil palm nutrition within such a framework. To do so, we review the role of nutrients and nutrient balances in oil palm production systems, and document the importance of fertilization for high yields. Management indicators that aid oil palm nutrition, including soil test and plant analyses as well as nutrient ratios are presented, and discussed as they relate to sustainable intensification. Finally, nutritional best management practices (BMP) are related to the biological aspects of yield formation to clarify how such practices contribute to yield intensification through “yield taking” and “yield making”.

In the second part of this paper we then illustrate these general concepts and principles with examples and results from BMP projects that the Southeast Program of the International Plant Nutrition Institute manages jointly with partner plantations in Southeast Asia. We demonstrate the success of the developed intensification approach with results of fresh fruit bunch and oil yield, and provide information on the impacts of such an approach on soil quality. The global relevance of these findings for the industry is discussed. And finally, complementary R&D is presented.



Introducción a la intensificación de los sistemas de producción de palma de aceite

Se espera que la población mundial aumente a más de 9 mil millones en 2050, con más de la mitad como habitantes de las ciudades (Clay, 2011). Una población más grande, junto con un aumento de los ingresos disponibles y los cambios asociados en la dieta, con una mayor demanda de alimentos procesados, productos de origen animal y biocombustibles, pone de relieve la necesidad de incrementar la producción agrícola total en las próximas décadas (FAO, 2006). Desde 1961 hasta 2005, la mayor parte del aumento de la producción agrícola se debió al incremento del rendimiento y a la intensidad de los cultivos, con solo el

9% por el aumento de la superficie de tierras (Bruinsma, 2009). La tendencia de los incrementos limitados de tierra dedicada a la agricultura probablemente continúe, con los mayores aumentos en la producción total debido al incremento de la productividad (Bruinsma, 2009). Sin embargo, los rendimientos se han estancado en muchos cultivos como la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) (Fischer *et al.*, 2009, Ramankutty, 2010; Byerlee y Deininger, 2010; Kushairi *et al.*, 2010), que es la fuente más importante de aceites vegetales (Fry, 2010).

El incremento espectacular de la producción de aceite de palma en los últimos cincuenta años se ha debido, en gran medida, al aumento del área sembrada con palma de aceite. Con las probables limitaciones de la expansión de la agricultura hacia nuevas áreas,

una de las principales preocupaciones es cómo incrementar la productividad a fin de satisfacer la demanda futura de aceite de palma (Corley, 2009). La palma de aceite tiene el potencial de producir más aceite por hectárea por año que otros cultivos oleaginosos. Desafortunadamente, muchos productores de palma de aceite no explotan el verdadero potencial genético del cultivo: existe una brecha de rendimiento entre el potencial y los rendimientos obtenidos en la mayoría de las plantaciones (Corley, 2005). Los rendimientos promedio de aceite a nivel nacional en la mayoría de los países productores están muy por debajo de los niveles potenciales. Más preocupante aun es el estancamiento aparente de los rendimientos alcanzados en muchos países durante las dos últimas décadas a medida que la producción total aumentó en concordancia con el área sembrada. Así, por ejemplo, Colombia alcanzó un rendimiento promedio de aceite de palma crudo (APC) de aproximadamente 4 t ha^{-1} durante los primeros años del siglo XXI, pero para finales de la primera década los rendimientos disminuyeron alrededor de $3,5 \text{ t ha}^{-1}$ (Mesa, 2010). Por otra parte, se estima que las plantaciones más eficientes en Indonesia y Malasia están alcanzando rendimientos de APC de áreas en producción muy por encima de 6 t ha^{-1} , con algunas que regularmente superan las 7 t ha^{-1}

de APC (informes anuales del Grupo IOI). Estos altos niveles de producción comercial indican una gran brecha de rendimiento entre lo que la mayoría de los agricultores están obteniendo y lo que se puede obtener.

La brecha entre el rendimiento real alcanzado (R) y el rendimiento potencial máximo (R-max) con una variedad dada para un sitio específico se ha separado en tres componentes (Figura 1, Fairhurst *et.al.*, 2006).

En los cultivos oleaginosos anuales, tales como la colza, la soya y el girasol, es relativamente fácil cambiar de manera rápida la variedad y las prácticas de manejo concomitantes. Por otra parte, la palma de aceite tiene un ciclo de cultivo largo, y las decisiones sobre la variedad y muchas de manejo se hacen al comienzo de ese ciclo y no pueden modificarse fácilmente después. Así, por ejemplo, la elección del sitio donde el cultivo se va a sembrar; el trazado de los campos y de la infraestructura de apoyo como las carreteras; la elección de la variedad y las fuentes de semillas; la densidad y esquema de siembra se hacen todas al comienzo del ciclo del cultivo y no pueden modificarse fácilmente en los 25 años o más que un cultivo específico o bloque permanece en producción. Una consecuencia directa de esto es la Brecha de Rendimiento 1 (B1, Figura 1), que se determina por las decisiones de manejo

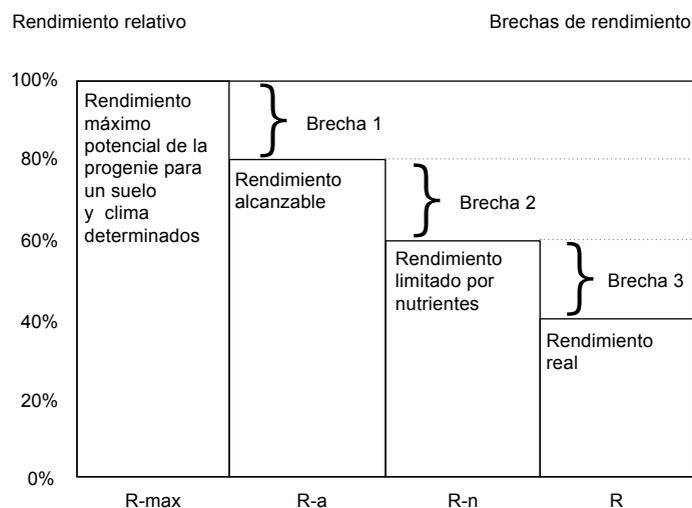


Figura 1. División de las brechas de rendimiento (adaptado de Fairhurst *et al.*, 2006).



tomadas durante el periodo inicial del desarrollo de la plantación. Si bien reconocemos la importancia de la B1, y muchas personas la discuten en combinación con la Brecha de Rendimiento 2 (B2, Figura 1), observamos que hay millones de hectáreas actualmente sembradas y que estarán en producción hasta por 25 o 30 años más.

La intensificación de la producción de palma de aceite para obtener mejores rendimientos se ha basado en variedades mejoradas y un mejor manejo. No hay duda de que ambos son importantes: en su análisis del aumento del rendimiento de APC de $1,3 \text{ t ha}^{-1}$ a $5,4 \text{ t ha}^{-1}$ en un periodo de cuarenta años en la plantación de Unilever en Johor, al sur de Malasia Peninsular, Davidson (1993) atribuyó aproximadamente la mitad del aumento del rendimiento a los avances en el mejoramiento genético y la mitad al manejo mejorado (incluido un procesamiento más eficiente del cultivo). Se estimó que solo las prácticas de fertilización mejoradas dieron cuenta del 29% del aumento del rendimiento (Davidson, 1993). Con frecuencia es difícil separar la contribución relativa de los factores, ya que la introducción de nuevas variedades mejoradas normalmente requiere de cambios en el manejo. Así pues, en Colombia, con la introducción de híbridos (*E. guineensis* x *E. oleifera*) con niveles más altos de resistencia a la PC (Putridión del cogollo, en Colombia los principales agentes que causan esta enfermedad son microorganismos de la familia *Phytophthora*), se están desarrollando nuevas prácticas de manejo que incluyen la polinización manual, poblaciones menos densas de plantas, intervalos más largos entre las rondas de cosecha y el establecimiento de nuevos niveles críticos de nutrientes (Julio Cesar Avendaño, comunicación personal).

En este trabajo nos centraremos en reducir la brecha de rendimiento entre el que obtienen los productores (R) y el rendimiento alcanzable (R-a), para una plantación específica establecida, que se determina por las decisiones de manejo del cultivo en las etapas iniciales del desarrollo de esa plantación. La mejora del manejo de las plantaciones adultas establecidas ofrece una gran oportunidad para in-

crementar la productividad en el corto plazo y por consiguiente, el aumento en la producción total sin aumentar la superficie de tierra. Fairhurst *et al.*, (2006) sugieren que la brecha entre el rendimiento alcanzable (R-a) y el rendimiento real (R) se debe tanto al manejo deficiente de los nutrientes en la fase de producción (Brecha de Rendimiento 2, B2) como a las ineficiencias en el manejo general (esto es, todas las demás prácticas de manejo excepto para los nutrientes) que dan como resultado la Brecha de Rendimiento 3 (B3, Figura 1). Debido a la importancia decisiva del manejo de los nutrientes en la determinación de la brecha entre el rendimiento alcanzable (R-a) y el rendimiento real (R), utilizamos el esquema de B2 y B3 propuesto por Fairhurst *et al.*, (2006) y nos concentramos en reducir la B2.

Al mismo tiempo, es claro que no tiene mucho sentido cerrar la brecha del rendimiento alcanzable (R-a) si el rendimiento adicional que se obtiene en el campo nunca llega a la planta de beneficio. Por consiguiente, introducimos los conceptos de “toma de rendimiento” y “producción de rendimiento”. “Producir rendimiento” está relacionado fundamentalmente con la producción de más racimos de fruta (y por tanto, más aceite) en el campo, mientras que “tomar rendimiento” es garantizar que la cosecha disponible de racimos de fruta en los campos efectivamente se recolecte y se transporte a la planta de beneficio. Este es un problema importante de la palma de aceite: la operación de cosecha no solo es costosa sino que las deficiencias en los protocolos de cosecha son también una fuente principal de pérdidas de cultivo. Por tanto, en nuestros esfuerzos para lograr el rendimiento alcanzable (R-a), hemos concentrado esfuerzos ante todo en mejorar el manejo nutricional del cultivo para reducir la B2, pero sin olvidar los factores relacionados con la B3.

Nutrición de la palma de aceite

La demanda de nutrientes de las palmas de aceite comprende aquellos necesarios para el crecimiento y aquellos para corregir las

deficiencias de nutrientes. La demanda para el crecimiento representa los nutrientes inmovilizados en los tejidos de la palma y que se requieren para la producción de racimos de fruta. Para alcanzar su potencial de crecimiento, la palma de aceite requiere un suministro suficiente de nutrientes. Algunos nutrientes no son los principales elementos constitutivos de los racimos de fruta, pero estos son necesarios para los procesos de crecimiento que contribuyen a su desarrollo. Una deficiencia de estos nutrientes lleva a una producción reducida. Otros nutrientes se utilizan para los procesos globales de crecimiento de la planta y también son constituyentes importantes tanto de los racimos de fruta como de otras estructuras de la planta. Cuando una palma en un sitio específico no está en un estado nutricional satisfactorio, se requiere un suministro adicional de nutrientes (además del requerido para los procesos de crecimiento) para elevar la concentración, tanto en el suelo como en la planta, a los niveles necesarios para reducir la B2 (Corley y Tinker, 2003).

Los nutrientes pueden ser suministrados por los fertilizantes, los racimos de fruta fresca reciclados y los efluentes de las plantas de beneficio, o por la explotación de las reservas de nutrientes en el suelo y en la planta. Los nutrientes también pueden perderse por la lixiviación, la escorrentía superficial, la erosión, y la volatilización. La eficiencia con la que los nutrientes aplicados son utilizados por un cultivo es un factor clave para el manejo sostenible. El Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI, por sus siglas en inglés) define la eficiencia en el uso de fertilizantes (EUF) como la proporción de nutrientes aplicados que el cultivo absorbe, y señala que aún con las mejores prácticas de manejo los cultivos no utilizan el 100% del fertilizante aplicado (IPNI, 2012). La EUF varía según los factores de sitio específico, que incluyen la meteorología, el tipo de suelo, el sistema de manejo y las interacciones de esos factores con la variedad de cultivo. La eficiencia agronómica (EA), que es la cantidad de aumento en el rendimiento por unidad de fertilizante aplicado (IPNI, 2012), es una medida de la EUF que puede utilizarse

para determinar los requerimientos de las dosis de nutrientes. Cuando las mismas unidades se utilizan para el aumento del rendimiento y la dosis de fertilizante, la expresión se convierte en una relación sin unidades y se calcula de la siguiente manera:

$$EA = (R_f - R_0)/F$$

donde R_f es el rendimiento del cultivo con nutriente aplicado como fertilizante, R_0 es el rendimiento del cultivo sin aplicación del nutriente en cuestión y F es la cantidad de nutriente aplicado como fertilizante.

Otra medida de la EUF es la eficiencia de recuperación de nutrientes (ER). La ER es el incremento en la absorción del nutriente por parte del cultivo en las partes aéreas de la planta como proporción del nutriente aplicado. Se calcula como:

$$ER = (A_f - A_0)/F$$

donde A_f es la absorción total del nutriente en la biomasa aérea del cultivo con nutriente aplicado, A_0 es la absorción total del nutriente en la biomasa aérea del cultivo sin nutriente aplicado y F es la cantidad de nutriente aplicado como fertilizante.

La ER depende de los requerimientos brutos de nutrientes, los balances de nutrientes, las dosis de aplicación de fertilizantes, la fertilidad del suelo y obviamente, las pérdidas de nutrientes (Goh y Teo, 2011). Actualmente no existe mucha información disponible sobre la ER en los sistemas de palma de aceite. En general, los sistemas de cultivo en los trópicos tienen ER inferior a 50% para el fertilizante nitrogenado aplicado, inferior a 10% para el fertilizante fosfatado aplicado, y alrededor de 40% para el fertilizante potásico aplicado (Balgil y Bennett, 1986). Goh y Teo (2011), por ejemplo, reportaron la ER del fertilizante potásico entre 19 y 83% para cinco tipos de suelo en Malasia Peninsular.

Las pérdidas de nutrientes en los sistemas de palma de aceite están determinadas por mecanismos basados en el agua (lixiviación, escorrentía superficial, erosión) y atmosféricos



(principalmente volatilización de N). Henson (1999) reportó pérdidas promedio por lixiviación entre 6 y 11% por nutriente aplicado. Foong (1993) sugirió que las pérdidas disminuyen bruscamente con la edad de las palmas. En Malasia, las pérdidas por escorrentía y erosión se han estimado entre 5 y 8% para N, entre 10 y 15% para K, menos del 2% para P y entre 4 y 6% para Mg (Kee y Chew, 1996). Las pérdidas por escorrentía y erosión pueden mantenerse en tasas razonables mediante prácticas de manejo selectivas. El K y el N están afectados principalmente por la escorrentía, mientras que el P se pierde principalmente a través de la erosión. Se han documentado pérdidas por volatilización del 30 al 50% por la aplicación de urea (Chan y Chew, 1984; Husin, 1995).

El papel de los nutrientes en la reducción de las brechas de rendimiento

Por lo general, las palmas de aceite responden fuertemente a la aplicación de nutrientes y la nutrición adecuada de este cultivo es crucial para lograr altos rendimientos. Para obtener buenos rendimientos, es necesario suministrar nutrientes para los requerimientos de crecimiento de la palma. Además, cuando se cosechan los racimos de fruta, los nutrientes se extraen del campo y solo regresan parcialmente con los racimos vacíos de fruta: por tanto, a menos que se adicionen nutrientes complementarios para reemplazarlos, los rendimientos de aceite serán bajos. La Tabla 1 resume los valores de extracción promedio.

De todos los nutrientes, el nitrógeno (N) y el potasio (K) generalmente se requieren en

mayor cantidad. El fósforo (P), el magnesio (Mg), el calcio (Ca), el cloro (Cl) y el azufre (S) se requieren en menores cantidades. El boro (B), el cobre (Cu), el zinc (Zn), el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el níquel (Ni) y el molibdeno (Mo) son todos igualmente esenciales para el crecimiento y el desarrollo, pero generalmente se requieren en cantidades mínimas, y solo son deficientes ocasionalmente. La principal extracción promedio de nutrientes por el cultivo de palma de aceite se resume en la Tabla 1.

El nitrógeno (N) desempeña un papel vital en la mayoría de los principales procesos metabólicos, como la fotosíntesis. El N promueve el crecimiento, incluido el de las hojas, que a su vez, incrementa la luz que se intercepta y se emplea para la fotosíntesis, la cual contribuye a la producción de más racimos de fruta de mayor peso, y por consiguiente más aceite. No obstante, el exceso en el suministro de N puede llevar a un crecimiento excesivo del dosel, lo que deja muy poco de la asimilación total del carbono para su distribución a los racimos de fruta, y por ende disminuye el rendimiento. El fósforo (P) es esencial para el desarrollo de las raíces, brotes y flores y es importante para el almacenamiento y transferencia de energía, sin embargo, la cantidad necesaria no es tan grande como la de nitrógeno. El potasio (K) es importante para el desarrollo de los racimos y frutos, mejora la absorción de agua y nutrientes; participa en la síntesis de celulosa y en varios procesos enzimáticos y en la respiración; es necesario para la traslocación y síntesis de azúcares y almidones, y puede retardar las enfermedades de los cultivos. El K ayuda a incrementar la eficiencia en el uso del N, al contribuir con la conversión de N a proteínas. El K es un antagonista del magnesio (Mg) y del

Tabla 1. Extracción, reciclaje e inmovilización promedio anual de nutrientes por palma de aceite (en kg ha⁻¹) para una producción anual de racimos de fruta fresca de 25 t ha⁻¹ (Chan, 1992; Chan, 2000).

	N	P	K	Mg	Ca
Extraído en el cultivo	73	11,6	93	21	20
Reciclado*	78	11,1	102	28	60
Inmovilizado	41	3,3	56	12	10

* Incluidos racimos vacíos de fruta, hojas, inflorescencias masculinas, efluentes de las plantas de beneficio

calcio (Ca): el manejo de la ratio entre estos nutrientes principales es importante en los sistemas de producción.

Se necesita el conocimiento de la respuesta del cultivo a los nutrientes adicionados para determinar la cantidad de nutrientes que maximizan la rentabilidad económica. Generalmente se utiliza el análisis de tejidos para determinar los requerimientos de nutrientes. El tejido foliar de la hoja 17 es el tejido estándar sometido a muestreo, excepto para el K, en cuyo caso se utiliza el raquis de la hoja 17. El K del raquis es un mejor indicador de la respuesta en rendimiento potencial al K aplicado que el K en las hojas (Teoh y Chew, 1988; Foster y Prabowo, 1996), con un nivel óptimo de 1,31-1,60% de K en el tejido del raquis de la hoja 17 (Teoh y Chew, 1988). Goh y Härdter (2003) indican que los valores de N, P, Mg y Ca medidos en la hoja 17 son adecuados cuando se sitúan entre 2,5 y 4%, 0,15 y 0,19%, 0,25 y 0,3% (0,3 a 0,4% para palmas jóvenes) y 0,5 y 0,75%, respectivamente. Ollagnier y Sachs (1972) definieron el rango óptimo de 0,2 a 0,23% para la concentración de S en las hojas. Sin embargo, estos valores probablemente no son correctos: Lim y Chan (1995) encontraron que los valores por debajo de 0,16% son más probables, y recientemente, Gerendas *et al.*, (2011) propusieron una nueva revisión de los valores óptimos y críticos de S en las hojas. Las concentraciones óptimas de Cl en las hojas se sitúan entre 0,45 y 0,6% en el tejido foliar de la hoja 17 (Goh & Härdter, 2003). Para las concentraciones

de micronutrientes, favor referirse a Goh y Härdter (2003). En la Guía de Campo de Palma Aceitera Fase Madura publicada por el IPNI se presenta un breve resumen de las concentraciones foliares de nutrientes y los rangos de las propiedades químicas adecuadas del suelo (Rankine y Fairhurst, 1998, p. 31).

En general, las concentraciones foliares de nutrientes con frecuencia disminuyen notablemente con la edad de la planta. También hay interacciones del contenido de nutrientes con la edad de la hoja, la posición del foliolo, el número de la hoja, el ciclo de fructificación, el material de siembra, la densidad de las palmas, el tratamiento con fertilizantes, la lluvia y las propiedades del suelo (Fairhurst, 1998). Por ejemplo, las diferencias entre los suelos costeros y del interior de Malasia pueden ser significativas (Foster *et al.*, 1988; Caliman *et al.*, 1994, reportado en Corley y Tinker, 2003).

El caso del K se describe como ejemplo de la respuesta a las aplicaciones de nutrientes. Este es uno de los nutrientes más importantes en la producción de palma de aceite: durante los primeros diez años después de la siembra, la absorción es de 2.000 - 2.750 kg de K ha⁻¹ (Ng y Thamboo, 1967; Chew *et al.*, 1994). La absorción de K aumenta rápidamente de aproximadamente 20 a casi 240 kg ha⁻¹ en el tercer año después de la siembra, y luego aumenta ligeramente en los siguientes dos años antes de estabilizarse (Ng, 1977). En los dos primeros años después de la siembra, la mayor parte del K se almacena en el raquis

Tabla 2. Demanda anual de nutrientes de palma de aceite de varias edades (en kg ha⁻¹).

Edad*	N	P	K	Ca	Mg	Referencia
0-3	40	6	55	13	7	Tan (1976) ¹
3-9	191-267	32-42	287-387	85-114	48-67	Tan (1977) ¹
10	114	14	149	33	32	Henson (1999) ²
9-12	116	12	167	Sin datos	22	Tarmizi y Mohd Tayeb (2006)
15	162	21	279	Sin datos	49	Ng <i>et. ál.</i> (1999) ²
15	192	26	251	89	61	Pushparajah y Chew(1998) ²
15	192	26	251	Sin datos	61	Ng (1977) ²

1. Citado por Goh y Hardter (2003);

2. Adaptado de Xavier (2000) por Corley y Tinker (2003);

*. Edad de las palmas



Tabla 3. Respuestas en rendimiento anual de Racimos de Fruta Fresca (RFF) a la aplicación de K como cloruro de potasio (Muriato de Potasio, MoP) en experimentos con fertilizantes en varios tipos de suelo en Malasia (Goh *et al.*, 1994).

Tipo de suelo	Respuesta en rendimiento medio (%)	Rango de respuesta en rendimiento (%)	Dosis media de MoP (kg/palma/año)	Rango dosis de MoP (kg/palma/año)
<i>Typic Tropaquept</i>	+7,3	0 – 45,4	2,2	0 – 5,4
<i>Sulfic Tropaquept</i>	+8,1	6,8 – 9,3	4,1	2,7 – 5,5
<i>Typic sulfaquept</i>	+6,6		4,6	
<i>Oxic Tropaquult</i>	+7,8	5,8 – 9,9	4,25	2,5 – 6,0
<i>Typic Paleudult</i>	+25,0		3,6	
<i>Typic Paleudult</i>	+18,5	8,3 – 24,0	3,8	2,0 – 7,0
<i>Typic Plinthudult</i>	+9,3	9,3 – 11,6	3,0	2,3 – 3,6
<i>Aquioxíc Tropudult</i>	+7,3	3,1 – 11,4	4,6	2,7 – 6,4
<i>Oxic Tropudult</i>	+17,8		3,8	
<i>Tropeptic Haplorthox</i>	+18,1	3,1 – 43,0	4,6	2,0 – 6,0
<i>Typic Gibbsiorthox</i>	+5,6		2,7	
<i>Haplic Acrorthox</i>	+13,1	12,0 – 14,2	3,65	3,6 – 3,7

y los foliolos, mientras que el contenido en el tronco aumenta hasta el quinto año después de la siembra cuando más del 70% del K total está en el tronco. En once experimentos que cubrieron gran parte de Indonesia, con precipitaciones anuales de 1.500 – 4.000 mm, los rendimientos anuales de racimos de fruta fresca (RFF) oscilaron entre 16,0 y 25,7 t ha⁻¹ en ausencia de aplicación de K (Pujianto *et al.*, 2006; Tohirudin *et al.*, 2006b). Las aplicaciones anuales de 2,0 - 4,0 kg de KCl por palma dieron respuestas en rendimiento anual de RFF de aproximadamente 5 t ha⁻¹ con un rango de 0,6 - 7,6 t ha⁻¹. En la Tabla 3 se presentan las respuestas de rendimiento anual de RFF a la aplicación de KCl en Malasia.

Sobre la base en un criterio por palma, Ng y Thong (1985) reportaron requerimientos anuales para los rodales maduros entre 0,3 y 3 kg de K por palma, lo que indica respuestas muy específicas por sitio. La respuesta en rendimiento al K aplicado depende del nivel de rendimiento sin aplicación de K, lo que a su vez, para el mismo suelo, depende de la materia orgánica del suelo (MOS), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el K intercambiable del suelo (Foster *et al.*, 1985; Foster y Tarmizi, 1988). El déficit hídrico modera la

respuesta en rendimiento a la aplicación de K, con respuestas menores cuando el déficit hídrico es mayor (Pujianto *et al.*, 2006). La respuesta en rendimiento a la aplicación de K aumenta con la edad de las palmas (Goh *et al.*, 1994; Tohirudin *et al.*, 2006a).

Corley y Tinker (2003) analizaron datos de United Plantations (Xaviar, 2000) y concluyeron que en condiciones asiáticas, una dosis moderada de fertilizantes en palmas con más 25 años es de aproximadamente 20 kg de N, 15kg de P y 25kg de K por palma. El aceite y la almendra cosechados durante este periodo representaron solo 15 kg de N, 3 kg de P y 5 kg de K por palma, lo que indica una eficiencia bastante baja de los fertilizantes, especialmente el K, en términos de producción comercial.

El efecto de las Mejores Prácticas de Manejo (MPM) de palma de aceite relacionadas con la nutrición

El Programa del Sudeste Asiático del IPN SEAP, (por sus siglas en inglés), ha desarrollado un proceso para evaluar la manera cómo las brechas de rendimiento pueden reducirse mediante un mejor manejo. El proceso del IPNI

SEAP es una herramienta que puede emplearse para valorar el mejoramiento del rendimiento potencial a partir de Mejores Prácticas de Manejo (MPM) antes de destinar tiempo y recursos costosos a escala de plantación. El proceso evalúa no solo los beneficios de los paquetes de las MPM, sino también las MPM más adecuadas para un sitio determinado. Mediante esta metodología del IPNI SEAP (denominado el “concepto de las MPM”), se identifica un conjunto de MPM por sitio específico que pueden mejorar la productividad de una plantación. El equipo de manejo de la plantación luego implementa este conjunto de MPM en un número representativo de bloques comerciales de tamaño normal, y

estos se comparan con bloques de referencia (bloques REF) manejados por el mismo equipo a los actuales estándares de la plantación para evaluar las brechas de rendimiento existentes, y por tanto, evaluar, *ex ante*, las oportunidades para mejorar la productividad, la rentabilidad, la sostenibilidad y el medio ambiente a escala de plantación.

Así pues, las plantaciones pueden identificar las MPM para la intensificación del rendimiento, y basar sus decisiones de inversión en pruebas a escala comercial en lugar de pequeñas parcelas de investigación. Este concepto de MPM se introdujo con éxito por primera vez en 2001 en un proyecto de rehabilitación de

Tabla 4. Mejores Prácticas de Manejo (MPM) que directa o indirectamente apoyan la nutrición de la palma de aceite. (Fuente: Rankine y Fairhurst, 1998).

MPM	Efecto directo a través de	Efecto indirecto a través de
Limpieza de maleza en los círculos / en los caminos, química		Reducir la competencia de la maleza por nutrientes, humedad y brillo solar
Limpieza selectiva de maleza, manual y química	Conservar la fertilidad del suelo con plantas leguminosas de cobertura	Reducir la competencia de la maleza por nutrientes, humedad y brillo solar
Eliminación de plantas trepadoras y enredaderas		Reducir la competencia de la maleza por nutrientes, humedad y brillo solar
Manejo y poda del dosel	Suministrar suficientes nutrientes a las palmas para promover crecimiento vegetativo sano, máximo rendimiento económico y resistencia a las plagas y enfermedades	Mantener área foliar óptima y maximizar la conversión de brillo solar, nutrientes y agua en biomasa, incluidos los frutos
Fertilización inorgánica	Suministrar suficientes nutrientes a las palmas para promover crecimiento vegetativo sano, máximo rendimiento económico y resistencia a las plagas y enfermedades	
Fertilización orgánica, racimos de fruta fresca, efluentes de las plantas de beneficio, ceniza de los racimos, hojas podadas y similares	Suministrar suficientes nutrientes a las palmas para promover crecimiento vegetativo sano, máximo rendimiento económico y resistencia a las plagas y enfermedades	Mantener / mejorar la calidad del suelo mediante la integración de las fuentes orgánicas e inorgánicas
Plantas leguminosas de cobertura	Aumentar la fertilidad del suelo mediante la liberación de N y otros nutrientes	Mantener / mejorar la calidad, estructura y retención de agua del suelo
Censo		Determinar las áreas no productoras y las palmas no productivas

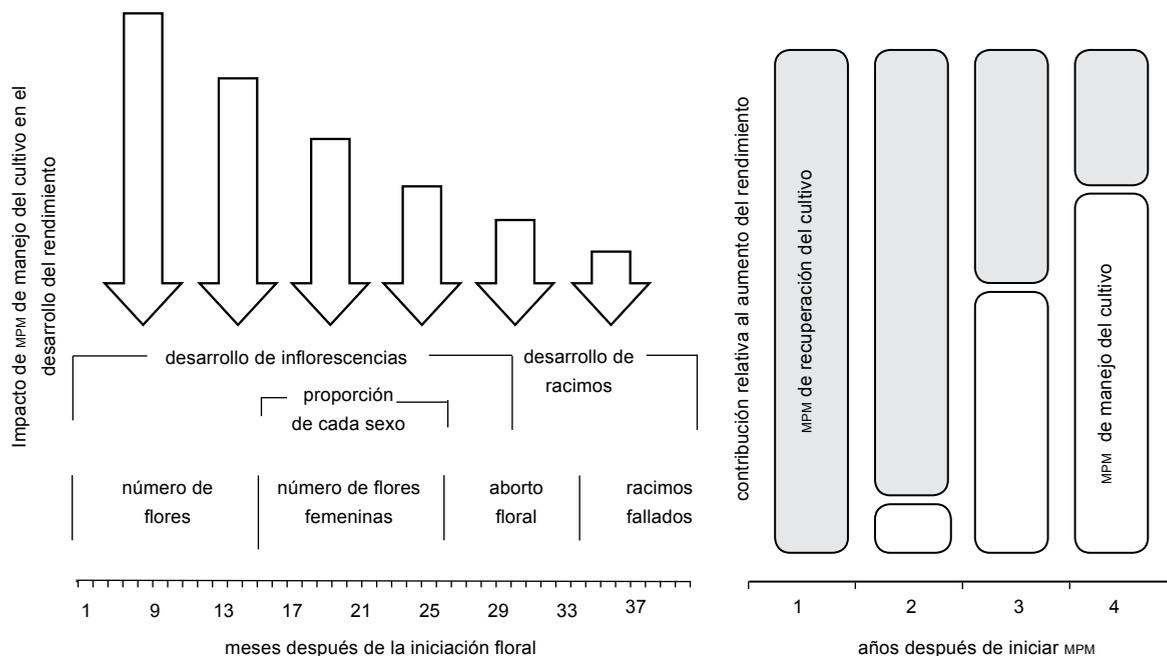


Figura 2. Descripción conceptual de la contribución de las Mejores Prácticas de Manejo (MPM) para el manejo y recuperación del cultivo hacia la formación de rendimiento a partir de racimos de fruta fresca (RFF).

palma de aceite en PT Asiatic Persada en la provincia de Jambi, Indonesia (Griffiths y Fairhurst, 2003). Todo el conjunto de las MPM contiene varios componentes que afectan directa o indirectamente la nutrición de las plantas (Rankine y Fairhurst, 1998). Los efectos directos proceden del suministro de nutrientes para el crecimiento de las plantas, mientras que los indirectos pueden surgir de la reducción de la competencia por los nutrientes y por proveer un medio edáfico sano (Tabla 4).

Como se mencionó anteriormente, las MPM pueden separarse en las que contribuyen a *tomar rendimiento* (recuperación del cultivo) y a *producir rendimiento* (manejo del cultivo). La MPM relacionadas con la nutrición del suelo son por naturaleza MPM de producir rendimiento. A diferencia de muchos otros cultivos, hay un lapso de tiempo en la palma de aceite entre la implementación de las prácticas agronómicas mejoradas de manejo del cultivo y sus efectos en el rendimiento. Transcurren 35 a 40 meses entre la iniciación floral y la maduración de los racimos (Breure, 2003). Así pues, el efecto de las MPM que afectan la iniciación floral y otros procesos relacionados con la formación

y desarrollo de los racimos puede manifestarse después de unos periodos de varios meses o incluso años. Esta variación en el lapso de tiempo depende de la tasa de producción de hojas: con un menor intervalo entre la iniciación floral y la maduración de los racimos cuando la producción de hojas es rápida.

La contribución de las MPM de manejo del cultivo en la formación de rendimiento se describe en la Figura 2. La gráfica de la derecha estima el efecto de las prácticas de recuperación del cultivo frente a las de manejo del cultivo en un período de cuatro años. Las prácticas de recuperación del cultivo tienen un efecto casi inmediato después de su implementación. El efecto de los factores de manejo del cultivo solo se traduce en beneficios de rendimiento varios meses después de comenzar la implementación de MPM, y los efectos completos pueden observarse solo después de tres a cuatro años. Este lapso está relacionado con los efectos en los procesos biológicos que impulsan el desarrollo de los racimos. Cuando las palmas se estresan, mecanismos complejos de retroalimentación cambian la proporción de cada sexo y también promueven el aborto. Los efectos de los estreses relacionados

con los nutrientes, la humedad y otros, son considerables en las primeras etapas después de la iniciación floral; de ahí la importancia de las MPM para la producción de rendimiento en esta fase.

El concepto de las 4C para implementar MPM relacionadas con la nutrición

La nutrición de las plantas es una parte importante del manejo de la producción total de las palmas de aceite y su sanidad. El manejo exitoso de nutrientes tiene en cuenta lo siguiente: (a) las necesidades nutricionales del árbol en su entorno específico de crecimiento; (b) la relación entre el rendimiento y la nutrición; (c) la interacción entre las condiciones de crecimiento, manejo y sitio; y (d) el destino de los nutrientes aplicados en el sistema de cultivo. El IPNI recientemente elaboró el concepto de las cuatro C, “4C” (en inglés, las “4R”) para la planificación y el manejo de nutrientes (IPNI, 2012). El punto central de este enfoque consiste en utilizar la fuente correcta de fertilizantes, en la cantidad correcta, en el momento correcto y en el lugar correcto. Estas cuatro C son esenciales en el manejo nutricional de las plantas para incrementar la sostenibilidad de los sistemas vegetales.

Se debe mantener un equilibrio entre los cuatro “correctos” para no poner demasiado énfasis en uno a expensas del otro. Con frecuencia se da demasiada importancia a la dosis correcta debido a su simplicidad y relación directa con los costos. La fuente, el momento y el lugar correctos a menudo se pasan por alto, pero también ofrecen grandes oportunidades para un mayor rendimiento. Los cuatro “correctos” están interconectados. Deben estar sincronizados con los entornos de las plantas, del suelo, del clima y del manejo, que están interrelacionados e influyen de muchas maneras en el crecimiento y la absorción de nutrientes de las plantas. La nutrición de las plantas es uno de los componentes de los sistemas dinámicos de producción que varían de un lugar a otro, de un momento a otro y según el sistema de manejo y los objetivos. Desafortunadamente, poco se sabe sobre el efecto de

los cuatro “correctos” en la eficiencia de los nutrientes aplicados.

Estudio de caso sobre las MPM en la intensificación de palma de aceite

En 2006, el IPNI SEAP emprendió una validación más amplia del concepto de las MPM con la participación de treinta bloques de tamaño comercial con MPM y un total de 1.079 hectáreas establecidas en asociación con cinco plantaciones en Indonesia. Una descripción completa de la metodología y la justificación del proceso puede encontrarse en Donough *et al.*, (2010). En cada sitio, se seleccionaron cinco pares de bloques comerciales, cada uno de por lo menos 25 hectáreas, de manera que cada par se sembrara en el mismo año con las mismas fuentes de material de siembra, en terreno comparable con similares características del suelo. En cada par se designó un bloque para la implementación de las MPM (bloque MPM); el otro se convirtió en el bloque de referencia (bloque REF) donde se continuaron realizando las prácticas estándar actuales. Oberthür *et al.*, (2012) reportan los resultados globales y los detalles de las MPM pueden encontrarse en las series de los libros sobre palma de aceite (<http://SEAP.ipni.net/articles/SEAP0004-EN>) producidos por el IPNI SEAP. Los sitios se ubicaron en Sumatra (1, 2, 3) y en Kalimantan (4, 5, 6).

Los ensayos se diseñaron de tal manera que las diferencias en los efectos de la recuperación del cultivo y del manejo del cultivo pudieran separarse. Sin embargo, cuando los administradores de las plantaciones en la mayoría de los sitios percibieron los beneficios de medidas bastante sencillas para mejorar la recuperación del cultivo, como cosechar con más frecuencia, rápidamente adoptaron estos protocolos en sus bloques de referencia. Así pues, no ha sido posible determinar con precisión la relativa importancia de los efectos de la recuperación del cultivo y de su manejo. La adopción de nuevas tecnologías en parcelas de control o de referencia en comparaciones a gran escala comercial es común y es uno de los inconvenientes de la metodología.



Tabla 5. Rendimientos de Racimos de Fruta Fresca (RFF) del proyecto de MPM bajo condiciones diferentes en Sumatra y Kalimantan. (Fuente: Donough *et al.*, 2011).

Ubicación y tratamiento	Rendimiento anual de RFF (t ha ⁻¹)				
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Promedio ¹
Sumatra (Sitios 1,2,3)					
Mejores prácticas de manejo (MPM) (BMP)	29,9	27,9	25,7	26,2	27,4
Bloques de referencia (REF)	26,6	24,0	21,2	22,4	23,5
Diferencia (%)	13	17	21	17	17
Sitios en Kalimantan (Sitios 4, 5, 6)					
MPM	23,0	23,6	26,6	25,5	24,7
REF	20,6	20,5	23,5	23,1	21,9
Diferencia (%)	12	15	13	11	13
Condición óptima del sitio (sitio 1,2,6)					
MPM	29,8	30,4	29,2	29,1	29,6
REF	27,8	27,1	25,7	25,2	26,4
Diferencia (%)	7	12	14	15	12
Condición subóptima del sitio (3,4,5)					
MPM	23,1	21,2	23,0	22,7	22,5
REF	19,4	17,3	19,0	20,3	19,0
Diferencia (%)	19	22	21	12	18

1 - Valores promedio para la duración del proyecto de cuatro años.

Efectos en los rendimientos

Los bloques MPM superaron constantemente en rendimiento a los bloques REF (Tabla 5). En óptimas condiciones de sitio (Sitios 1, 2 y 6), los rendimientos anuales de racimos de fruta fresca (RFF) con MPM fueron de alrededor de 5 t ha⁻¹ en promedio, y equivalente a aproximadamente 6,5 t de APC por hectárea. La diferencia en los rendimientos anuales de RFF entre los bloques REF y los bloques MPM se incrementó de 2 t ha⁻¹ en el primer año a casi 4 t ha⁻¹ en el cuarto año en los sitios óptimos (Tabla 5). Si suponemos que los factores de manejo del cultivo tuvieron poco efecto en el primer año, entonces los factores de recuperación del cultivo aportaron aproximadamente 2 t ha⁻¹ de rendimiento de RFF adicional. Para el cuarto año, suponiendo que los factores de recuperación del cultivo permanecieron constantes, los factores de manejo del cultivo estaban aportando una ganancia similar de aproximadamente 2 t ha⁻¹ además de los factores de recuperación del cultivo. En el Sitio 1, donde desde el prin-

cipio se manejó bien la cosecha, la principal ganancia en productividad ocurrió en los años 3 y 4, lo que indica que hay ganancias de manejo del cultivo por las MPM, y que estas toman tiempo para manifestarse.

La disminución del rendimiento en los bloques REF de los sitios óptimos se explica en gran medida por menores precipitaciones (que resultó en déficit hídrico) durante el periodo del proyecto, así como en los dos años anteriores, en dos sitios de Sumatra. Cabe señalar que la disminución del rendimiento fue muy pequeña en los bloques MPM en el mismo periodo, lo que sugiere que si las lluvias no hubieran sido un factor limitante, los rendimientos en el año 4 se hubieran incrementado sustancialmente en estos bloques.

En los sitios con condiciones subóptimas (Sitios 3, 4 y 5), con un razonamiento similar, el efecto de las MPM de recuperación del cultivo puede alcanzar 3,7 t ha⁻¹ de rendimiento de RFF como puede apreciarse de los datos del primer año. Se esperaría que la diferencia en rendimiento de los RFF entre los bloques MPM

y los REF hubiera sido mayor y que el rendimiento total se hubiera incrementado más en los bloques MPM a medida que los efectos de manejo del cultivo se notaran. No se observaron ninguno de estos efectos. Sin embargo, las plantaciones en estos sitios habían adoptado rápidamente las MPM de recuperación del cultivo en los bloques REF, por consiguiente la ventaja sustancial en el rendimiento de 4 t ha⁻¹ en el año 3 y de 2,4 t ha⁻¹ en el año 4 en los bloques MPM se debió al manejo del cultivo. La falta de un incremento global del rendimiento de los bloques MPM se debe a la disminución del rendimiento en el sitio de Sumatra con precipitaciones reducidas.

El aumento del rendimiento de RFF obtenido con las MPM en el primer año varió de un sitio a otro; esta variación se ilustra con los datos de los Sitios 1, 3 y 5 (Tabla 5). En el Sitio 1, el rendimiento adicional de RFF (menos de 0,5 t ha⁻¹) con cosecha con MPM fue muy pequeño, lo que indica que la recuperación del cultivo ya era muy efectiva en los bloques REF con las prácticas de plantación actuales. En contraste en el Sitio 3, donde la diferencia en los intervalos de cosecha entre los bloques MPM y REF fue de magnitud similar como en el Sitio 1, el rendimiento fue casi 5,5 t ha⁻¹ (23%) más alto con MPM.

Esta diferencia desproporcionadamente grande en el efecto sobre el rendimiento de RFF, que surge de una diferencia similar en los intervalos de cosecha en ambos sitios, se relaciona en gran medida con la diferencia en el esquema de cultivo anual entre los dos sitios. En el Sitio 1, donde la precipitación anual es generalmente baja y las variaciones mensuales de las lluvias son menores durante el año, el rendimiento de RFF alcanza el máximo a casi el doble del punto bajo de rendimiento de RFF. En contraste en el Sitio 3, donde la precipitación anual es más alta pero hay una temporada seca bien definida (cuando la precipitación es casi cero), el punto máximo de rendimiento de RFF es tres veces el nivel de su punto bajo. Esta diferencia entre los meses de punto máximo y punto bajo es aún mayor durante un año de altos rendimientos. Las ventajas de un intervalo corto de cosecha con MPM se notan principalmente durante el periodo máximo de rendi-

miento de RFF de cualquier año, durante el cual el intervalo ligeramente más largo en los bloques REF es menos eficaz para recuperar el alto nivel de cultivo disponible. Durante los meses antes o después de los meses pico de cultivo, existe poca diferencia en los RFF recuperados entre los intervalos de cosecha de los bloques MPM y REF. Por tanto, el intervalo de cosecha de diez días de los bloques REF seguía siendo adecuado para recuperar un buen nivel del cultivo disponible durante los meses pico en el Sitio 1, pero el mismo intervalo de cosecha de los bloques REF resultó lamentablemente insuficiente en el Sitio 3. Esto puede verse en el número más alto de racimos cosechados por hectárea con MPM en el Sitio 3 (17% más que los bloques REF, Tabla 6), lo cual es una señal clara de recuperación del cultivo más efectiva, esto es, toma de rendimiento.

Otra razón que contribuyó a la diferencia de magnitudes del rendimiento adicional de RFF a partir de cosechar con MPM entre los Sitios 1 y 3, es la diferencia en las edades de las palmas (y, por tanto, las alturas de las palmas). La edad promedio de las palmas de los bloques del proyecto en el Sitio 1 en el primer año fue de diez años (rango: 6-10 años), comparado con un promedio de 17 años (rango: 15-18 años) en el Sitio 3. Fue más difícil cosechar las palmas más viejas y altas en el Sitio 3, con una mayor probabilidad de pasar por alto racimos maduros.

En el Sitio 5, el rendimiento adicional de RFF de 2,6 t ha⁻¹ en el Año 1 con cosecha con MPM se debió a la recuperación del cultivo. Esto se reflejó en el número mucho más alto de racimos cosechados por hectárea (14% más, Tabla 6). Era de esperar la clara ventaja de cosechar con MPM en este sitio dado el intervalo promedio de cosecha de poco más de quince días en los bloques REF.

¿Por qué el rendimiento adicional de RFF con cosecha con MPM fue menor en este sitio en comparación con el Sitio 3, a pesar de la diferencia mucho mayor en los intervalos de cosecha entre los bloques MPM y REF? En primer lugar, el peso promedio de los racimos cosechados en el Sitio 5 fue mucho más bajo comparado con el Sitio 3: esto se debió en parte a una menor edad de las palmas (la edad promedio



Tabla 6. Rendimiento de Racimos de Fruta Fresca (REF) en el primer año y sus componentes en el proyecto de MPM en tres sitios en Indonesia.

Rendimiento de RFF y componentes	Tratamiento	Sitio 1 ¹	Sitio 3 ²	Sitio 5 ³
Rendimiento de RFF (tha ⁻³)	MPM ⁴	32,1	29,4	16,9
	REF ⁵	31,7	24,0	14,3
	dif. ⁶ / %	0,4 / 1	5,4 / 23	2,6 / 18
No. de racimos ⁷ ha ⁻¹	MPM ⁴	2.024	1.398	1.436
	REF ⁵	2.118	1.193	1.262
	dif. ⁶	(94) / (4)	205 / 17	174 / 14
Peso promedio de racimos ⁸ (kg)	MPM ⁴	15,9	21,0	11,8
	REF ⁵	15,0	20,1	11,3
	dif. ⁶	0,9 / 6	0,9 / 4	0,5 / 4
Intervalo de cosecha ⁹ (días)	MPM ⁴	7,1	8,0	7,2
	REF ⁵	9,6	11,0	15,2
	dif. ⁶	(2,4)	(3,0)	(8,1)

1. Sitio 1: Año sembrado 1994 (1 par de bloques), 1995 (2 pares), 1998 (1 par, 2001 (1 par)

2. Sitio 3: 1989 (3 pares), 1991 (1 par), 1992 (1 par)

3. Sitio 5: 1998 (1 par), 1999 (4 pares)

4. Valores promedio para los bloques MPM

5. Valores promedio para los bloques REF

6. Magnitud de la diferencia observada entre los bloques mpm y ref, valores negativos en (), diferencia en % dada para el rendimiento de RFF y sus componentes

7. Número total de racimos cosechados en el Año 1

8. Peso promedio de racimos cosechados en el Año 1

9. Intervalo promedio (en días) entre las ocasiones sucesivas de cosecha en el Año.

de las palmas en el año 1 en este sitio fue de nueve años, con un rango de 8–9 años), pero en gran medida por el estado de crecimiento y salud significativamente más deficiente de las palmas (la plantación había sido seriamente descuidada hasta su venta a los actuales propietarios, es decir, el socio del proyecto del IPNI SEAP. El mal estado de las palmas se reflejó en el muy bajo rendimiento de RFF, incluso en los bloques MPM, en este sitio en el Año 1 (Tabla 6). En segundo lugar, las palmas fueron mucho más cortas en el Sitio 5 debido a la edad mucho menor de las palmas (la mitad de la edad comparada con el Sitio 3) lo cual se vio comprometido además por su mal estado de salud: por tanto, el trabajo de los cosechadores fue relativamente más fácil en los bloques REF a pesar del intervalo de cosecha de quince días. Por la misma razón, el número de racimos cosechados por hectárea de los bloques MPM en este

sitio probablemente se aproximó al potencial real predominante en el Año 1.

También se reflejó una recuperación del cultivo más eficaz con la cosecha con MPM en el peso promedio ligeramente más elevado de los racimos cosechados (4-6% de racimos con MPM más pesados) en los tres sitios en el Año 1. Esto probablemente se debió a las menores pérdidas de frutos sueltos (FS) con intervalos de cosecha más cortos con las MPM. La ganancia en el peso promedio de los racimos cosechados fue proporcionalmente mucho más pequeña en comparación con el incremento en el número de racimos cosechados, en gran medida debido a que el estándar de madurez mínima (EMM, esto es, el criterio para cosechar racimos maduros, expresado como el número mínimo de FS por racimo) fue bajo (1-FS en los tres sitios en el Año 1) y no difirió entre los bloques con MPM y REF.

El incremento en los racimos cosechados por hectárea debido a la recuperación del cultivo en el Año 1, sugiere que con la cosecha con MPM, los cosechadores pueden identificar y recuperar de manera más metódica más racimos de los bloques MPM, mientras que en los bloques REF ellos pasan por alto algunos de los racimos maduros. Con intervalos de cosecha promedio más largos en los bloques REF de hasta quince días como en el Sitio 5, algunos racimos pueden podrirse completamente incluso antes de ser cosechados.

En todo caso, cuando se observan grandes diferencias de hasta 17% entre los bloques MPM y REF en términos de número de racimos cosechados por hectárea, esto sugiere que hay un espacio grande para el mejoramiento en los protocolos de cosecha para la recuperación del cultivo. ¿Cuánto más cultivo hay para recuperar de los bloques MPM? La respuesta a esta pregun-

ta puede solo abordarse si la cosecha con MPM se combina con un sistema de marcación de los racimos maduros antes de la cosecha en cada bloque, práctica que ya ha sido evaluada en Colombia (Mosquera *et al.*, 2009).

Para el Año 4 en los tres sitios, es evidente que los protocolos de cosecha han sido mejorados incluso en los bloques REF (Tabla 7). Esto fue más evidente en el Sitio 5, donde los intervalos de cosecha habían caído de ligeramente más de quince días en el Año 1 (Tabla 6) a menos de diez días (Tabla 7). Al igual que en el Año 1, el principal contribuyente para el incremento del rendimiento de RFF en el Año 4 fue el aumento en el número de racimos cosechados por hectárea (7-15% más alto en los bloques MPM, Tabla 7), con un menor pero consistente efecto de aumento en el peso promedio por racimo cosechado (2-5% más alto en

Tabla 7. Rendimiento de Racimos de Fruta Fresca (RFF) en el cuarto año y sus componentes en el proyecto de MPM en tres sitios en Indonesia.

Rendimiento de RFF y componentes	Tratamiento	Sitio 1 ¹	Sitio 3 ²	Sitio 5 ³
Rendimiento de RFF (t ha ⁻¹)	MPM ⁴	28,4	24,0	25,1
	REF ⁵	24,8	20,5	22,3
	dif. ⁶ / %	3,6 / 14	3,4 / 17	2,7 / 12
No. de racimos ⁷ ha ⁻¹	MPM ⁴	1.319	916	1.361
	REF ⁵	1.193	797	1.277
	dif. ⁶	126 / 11	205 / 15	84 / 7
Peso promedio de racimos ⁸ (kg)	MPM ⁴	21,5	26,2	18,4
	REF ⁵	20,7	25,8	17,5
	dif. ⁶	0,8 / 4	0,4 / 2	0,9 / 5
Intervalo de cosecha ⁹ (días)	MPM ⁴	7,1	7,0	7,0
	REF ⁵	9,9	10,0	9,7
	dif. ⁶	(2,8)	(3,0)	(2,7)

1. Sitio 1: Año sembrado 1994 (1 par de bloques), 1995 (2 pares), 1998 (1 par, 2001 (1 par)

2. Sitio 3: 1989 (3 pares), 1991 (1 par), 1992 (1 par)

3. Sitio 5: 1998 (1 par), 1999 (4 pares)

4. Valores promedio para los bloques MPM

5. Valores promedio para los bloques REF

6. Magnitud de la diferencia observada entre los bloques MPM y REF, valores negativos en (), diferencia en % dada para el rendimiento de RFF y sus componentes

7. Número total de racimos cosechados en el Año 1

8. Peso promedio de racimos cosechados en el Año 1

9. Intervalo promedio (en días) entre las ocasiones sucesivas de cosecha en el Año 1.



los bloques *MPM*, Tabla 7). Al mismo tiempo, se presentaron cambios notables en el número global de racimos cosechados y en el peso promedio por racimo cosechado durante el período de cuatro años.

En los Sitios 1 y 3, los rendimientos de *RFF* en los bloques *MPM* fueron menores en el Año 4 (12% menos (Tabla 7) comparado con el Año 1 (Tabla 6) en el Sitio 1; 18% menos en el Sitio 3 comparado con el Año 1. Esto se debió a una caída drástica en el número de racimos cosechados por hectárea (una caída del 35% en el Sitio 1; una caída del 34% en el Sitio 3). Esto cambios también se reflejaron en los bloques *REF* (44% menos racimos cosechados en el Sitio 1; 33% menos en el Sitio 3), con rendimientos de *RFF* que cayeron en 22 y 15%, respectivamente en los Sitios 1 y 3.

Si bien se espera que las palmas produzcan progresivamente menos racimos (pero más pesados) a medida que envejecen, esta caída más grande de lo habitual en los racimos recuperados por hectárea se debió probablemente a los efectos depresivos de los factores de estrés externos que ocurrieron en estos dos sitios. En los Sitios 1 y 3 se produjeron déficits hídricos significativos (los datos no se muestran en este documento) en el periodo del proyecto de cuatro años que hubieran moderado los efectos positivos (en el números potencial de racimos) de las *MPM* de manejo del cultivo que se están implementando.

En el Sitio 1, el efecto depresivo del rendimiento a causa de los déficits hídricos se vio agravado por serias pudriciones de estípites (causadas por *Ganoderma*) en tres de los bloques *MPM*, lo que conllevó a algunas pérdidas de rodales productivos para los años 3 y 4, y a una pérdida significativa de área foliar debido a la aparición de orugas devoradoras de hojas en otro bloque *MPM*. En el Sitio 3, se produjo una pérdida grave de área foliar (*AF*) debido a las apariciones de orugas devoradoras de hojas en dos de los bloques *MPM*, mientras que en otro bloque *MPM* se presentó una grave infestación de escarabajos *Oryctes rhinoceros* que dio como resultado un retraso en el crecimiento de las palmas y pérdida de rodales productivos.

Así pues, aunque se produjo un gran incremento en el peso promedio por racimo cosechado en estos dos sitios (35% racimos más pesados con *MPM* en el Año 4 (Tabla 7) comparado con el Año 1 (Tabla 6) en el Sitio 1; 25% más pesado en el Sitio 3, que probablemente se debió a las *MPM* de manejo del cultivo (además del aumento normal en el tamaño de los racimos con la edad de la palma), los efectos depresivos de los estreses a causa de las plagas y enfermedades hubieran moderado las ganancias potenciales. Por ejemplo, en los bloques del Sitio 1 infestados con pudrición de estípites causada por *Ganoderma*, es probable que un número significativo de las palmas restantes y aparentemente todavía productivas tuvieran una infección latente que podría comprometer (y probablemente lo hizo) el número de racimos por palma y el potencial de peso promedio de los racimos.

En el Sitio 5, se produjeron déficits hídricos significativos en los dos años anteriores al proyecto, así como durante el Año 3 del proyecto (los datos no se muestran en este documento). Esto hubiera moderado los efectos de las *MPM* de manejo del cultivo. En caso contrario, se habría podido alcanzar un incremento mucho mayor en el rendimiento de *RFF* en este sitio. La caída en el número de racimos cosechados por hectárea en este sitio fue mucho menor (5% menor en el Año 4 (Tabla 7) comparado con el Año 1 (Tabla 6)) en contraste con los otros dos sitios. Esto fue probable debido a las condiciones de salud significativamente peores de las palmas en este sitio como se mencionó anteriormente. En circunstancias más normales, el número de racimos cosechados por hectárea en los bloques *MPM* en relación con los bloques *REF* puede haber aumentado en el Año 4 con respecto al Año 1 en este sitio. En el Sitio 5, el peso promedio de los racimos cosechados en el Año 4 aumentó considerablemente, tanto en los bloques *REF* como en los *MPM* (Tabla 7).

En los bloques *REF*, fue probable que la mayor parte del incremento grande observado (55% racimos más pesados en el Año 4 comparado con el Año 1) se debió a la recuperación del cultivo, ya que los intervalos de cosecha

cayeron a menos de 10 días en el Año 4 (Tabla 7) en comparación con los quince días en el Año 1 (Tabla 6). Parte del aumento en el peso de los racimos habría venido por supuesto por el incremento natural con la edad de las palmas. En los bloques *MPM* también se observó un nivel similar de aumento (56% racimos más pesados en el Año 4 comparado con el Año 1), pero los intervalos de cosecha con *MPM* habían permanecido iguales desde el Año 1. Por tanto, el incremento observado en el peso promedio de los racimos cosechados (y rendimiento de RFF) he debido provenir principalmente de las *MPM* de manejo del cultivo en este caso.

Efectos en el estado nutricional y en los indicadores de crecimiento

El principal énfasis en el manejo del cultivo con *MPM* fue a través del mejoramiento de la nutrición vegetal, con un gran incremento en el suministro potencial de nutrientes. Los datos de tres sitios (Sitio 1, Tabla 8a; Sitio 3, Tabla 8b y Sitio 5, Tabla 8c) ilustran lo anterior. En cada uno de estos tres sitios, se implementó el acolchado con racimos vacío de fruta (RV) a una tasa objetivo de 40 t ha⁻¹, dentro del ámbito de los límites prácticos, aportando nutrientes adicionales más allá de los que se suministran vía fertilizantes.

El logro del acolchado previsto con RV, tanto en términos de la tasa objetivo como de la cobertura de las áreas objetivo con *MPM*, varió entre cada sitio, como se muestra en la variación de los nutrientes suministrados vía RV (Tablas 8a-c). El logro real fue más completo en el Sitio 5, donde se estimó que los RV esencialmente duplicaron el suministro de K y Mg, mientras se adicionaba 50% más N y P, a los totales de los mismos nutrientes suministrados a los bloques *MPM* (Tabla 8c). En contraste en el Sitio 1, los nutrientes adicionales de los RV fueron relativamente bajos debido a que el acolchado se concentró esencialmente en solo un bloque *MPM* localizado más cerca de la planta de beneficio que suministró los RV (Tabla 8a). En el Sitio 3, el logro general fue más o menos del 50% con relación al Sitio 5 (Tabla

8b), pero en realidad el acolchado se concentró en tres bloques *MPM* en la plantación donde la planta de beneficio también estaba ubicada, mientras que otros dos bloques *MPM* localizados en otra plantación sin planta de beneficio no se acolcharon.

Con respecto al suministro de nutrientes vía fertilizantes en los bloques *MPM*, las primeras *MPM* relacionadas fueron: (i) esparcir hojas podadas sobre un área muy amplia (entre las palmas dentro de las hileras de las palmas, y en las áreas de las entre-hileras entre dos hileras adyacentes de palmas), luego (ii) esparcir a voleo el fertilizante sobre estas áreas cubiertas con hojas si procede para el fertilizante (por ejemplo, si se utiliza urea, entonces se esparce a voleo dentro del borde exterior de los círculos limpios de las palmas para que entre en contacto directo con el suelo). Se esperaba que estas *MPM* (coherentes con la filosofía de las 4C del IPNI) mejoraran la eficiencia de recuperación (ER) de los fertilizantes, y por lo tanto contribuyeran al manejo del cultivo.

Al inicio del proyecto de *MPM* en cada sitio, no se hicieron cambios en los presupuestos de fertilizantes para los bloques *MPM*, según lo estimaron las plantaciones asociadas del IPNI SEAP. En el Sitio 3 no se hicieron cambios a lo largo de todo el proyecto de cuatro años y el presupuesto de las plantaciones asociadas del IPNI SEAP no difirió significativamente de las estimaciones de las *MPM* del IPNI SEAP (Tabla 8b). Sin embargo, en los Sitios 1 y 5, los presupuestos de fertilizantes para los bloques *MPM* se ajustaron en el Año 2 para su implementación a partir del Año 3 en adelante. Esto dio como resultado algunas variaciones en el volumen y balance de los nutrientes aplicados en los bloques *MPM* con relación a los bloques REF en estos dos sitios (Tablas 8a y 8c). En el Sitio 1, las aplicaciones de K, P, Ca y S se incrementaron (los últimos tres nutrientes significativamente) por encima de los niveles de REF, mientras que la aplicación de Mg se redujo (Tabla 8a). En el Sitio 5, las aplicaciones de N, P, Mg y S se incrementaron ligeramente sobre los niveles de REF, mientras que K se redujo en consonancia con el acolchado de RV (Tabla 8c). Estos cambios fueron el resultado tanto de las dosis de



Tabla 8a. Principales nutrientes aplicados (en kg ha⁻¹) a los bloques con las Mejores Prácticas de Manejo (MPM) y de referencia (REF) en el Sitio 1 del proyecto de MPM en Indonesia.

	N	P	K	Mg	Ca	S	Cl	B
Nutrientes de Fertilizantes, MPM, Sitio 1								
Pre-Proyecto	83,5	29,2	158,4	48,6	57,7	47,2	49,7	5,32
2007	85,9	38,0	173,0	13,6	93,6	19,2	121,6	0,00
2008	130,7	49,6	208,6	17,0	122,1	173,4	146,6	0,00
2009	117,9	39,7	201,6	16,7	92,8	158,4	141,7	0,00
2010	93,3	38,3	91,9	16,8	94,2	23,8	64,6	0,00
Total	427,9	165,7	675,2	64,1	402,6	374,7	474,5	0,00
Nutrientes de RV (estimado, S y Cl no incluidos), MPM, Sitio 1								
Pre-Proyecto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
2007	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
2008	38,4	4,7	115,5	8,7	8,6	0,0	0,0	0,05
2009	25,6	3,1	77,0	5,8	5,7	0,0	0,0	0,03
2010	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Total	64,0	7,8	192,6	14,5	14,3	0,0	0,0	0,08
Nutrientes Totales, REF, Sitio 1								
Pre-Proyecto	86,2	30,2	163,6	50,5	59,9	48,7	51,3	5,41
2007	96,5	38,5	191,0	11,4	94,7	16,1	134,2	0,00
2008	63,7	18,0	171,9	29,5	44,3	41,7	120,8	0,00
2009	117,7	14,3	107,2	20,2	35,2	28,6	75,3	0,00
2010	164,8	13,6	138,2	22,0	33,4	31,0	97,1	0,00
Total	442,7	84,4	608,3	83,1	207,7	117,4	427,5	0,00
Diferencia Nutrientes Totales (BMP – REF), Sitio 1								
PreProyecto	(2,7)	(1,0)	(5,2)	(1,8)	(2,3)	(1,5)	(1,6)	(0,08)
2007	(10,6)	(0,5)	(18,0)	2,2	(1,1)	3,0	(12,6)	0,00
2008	105,4	36,3	152,3	(3,8)	86,3	131,7	25,8	0,05
2009	25,9	28,5	171,4	2,3	63,3	129,8	66,3	0,03
2010	(71,5)	24,7	(46,2)	(5,1)	60,8	(7,3)	(32,5)	0,00
Total	49,2	89,1	259,5	(4,6)	209,3	257,3	47,0	0,1

Los valores que se muestran son los promedios de los valores individuales de cinco bloques para cada tratamiento. Los valores se estiman a partir de una densidad de siembra de 138 palmas/ha para los bloques mpm, y de 139 palmas/ha para los bloques ref. Los valores negativos se presentan en ().

aplicación ajustadas como de los cambios en los tipos de fertilizantes (por ejemplo, la sustitución de urea por sulfato de amonio).

Estos cambios aumentaron las aplicaciones a los bloques BMP en los tres sitios para

todos o casi todos los nutrientes suministrados. En la sección anterior se mostró el mayor rendimiento de RFF en los bloques MPM con relación a los bloques REF, atribuible al manejo del cultivo. Por lo anterior se concluye que la

Tabla 8b. Principales nutrientes aplicados (en kg ha⁻¹) a los bloques con las Mejores Prácticas de Manejo (MPM) y de referencia (REF) en el Sitio 3 del proyecto de MPM en Indonesia.

	N	P	K	Mg	Ca	S	Cl	B
Nutrientes de Fertilizantes, MPM, Sitio 3								
Pre-Proyecto	153,7	18,8	250,4	17,3	0,0	0,0	72,4	0,3
2007	153,6	14,3	238,3	13,2	0,0	0,0	81,5	0,0
2008	138,9	12,6	170,9	11,6	0,0	0,0	44,5	0,0
2009	183,7	25,1	300,8	34,0	32,5	0,0	81,5	0,6
2010	134,1	17,1	242,7	25,5	0,0	13,8	67,7	0,3
Total	764,1	87,8	1.203,0	101,6	32,5	13,8	347,5	1,2
Nutrientes de RV (estimado, S y Cl no incluidos), MPM, Sitio 3								
Pre-Proyecto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2007	77,7	9,5	233,8	17,6	17,4	0,0	0,0	0,1
2008	131,1	16,1	394,6	29,7	29,3	0,0	0,0	0,2
2009	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2010	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	174,0	21,3	523,6	39,4	38,9	0,0	0,0	0,2
Nutrientes Totales, REF, Sitio 3								
Pre-Proyecto	156,4	18,6	251,8	17,2	0,0	0,0	64,7	0,3
2007	149,3	14,2	236,3	13,0	0,0	0,0	80,9	0,0
2008	137,3	12,4	168,2	11,4	0,0	0,0	43,8	0,3
2009	182,3	24,9	298,4	33,7	32,3	0,0	80,9	0,9
2010	132,5	16,9	240,1	25,3	0,0	13,6	66,9	0,3
Total	757,8	86,9	1.194,9	100,6	32,3	13,6	337,2	1,7
Diferencia Nutrientes Totales (BMP – REF), Sitio 3								
Pre-Proyecto	(2,7)	0,1	(1,4)	0,1	0,0	0,0	7,7	0,0
2007	82,0	9,7	235,8	17,7	17,4	0,0	0,6	0,1
2008	132,7	16,3	397,2	29,8	29,3	0,0	0,6	(0,1)
2009	1,4	0,2	2,4	0,3	0,2	0,0	0,6	(0,3)
2010	1,6	0,2	2,6	0,3	0,0	0,2	0,7	0,0
Total	180,3	2,2	531,8	40,3	39,1	0,2	10,3	(0,4)

Los valores que se muestran son los promedios de los valores individuales de cinco bloques para cada tratamiento. Los valores se estiman a partir de una densidad de siembra de 133 palmas/ha para los bloques MPM, y de 132 palmas/ha para los bloques REF. Los valores negativos se presentan en ().

mayoría de estos incrementos son debido a las MPM relacionadas con la nutrición y descritas aquí. Sin embargo, el suministro adicional de nutrientes en los bloques MPM no parece tener ningún efecto marcado en el contenido de los

tejidos vegetales en los bloques MPM con relación a los bloques REF (Tabla 9), y tampoco hubo un efecto claro sobre el indicador de crecimiento, el área de la sección transversal del pecíolo (P x S) (Tabla 10).



Tabla 8c. Principales nutrientes aplicados (en kg ha⁻¹) a los bloques con las Mejores Prácticas de Manejo (MPM) y de REFERENCIA (REF) en el Sitio 5 del proyecto de MPM en Indonesia.

	N	P	K	Mg	Ca	S	Cl	B
Nutrientes de Fertilizantes, MPM, Sitio 5								
Pre-Proyecto								
2007	228,9	38,9	175,3	26,0	116,0	0,0	0,0	2,86
2008	123,3	32,6	146,5	21,7	61,2	0,0	0,0	0,04
2009	248,7	13,5	74,6	13,5	122,8	13,0	12,4	0,40
2010	59,7	7,3	215,5	23,2	45,7	43,5	164,9	2,86
Total	660,5	92,4	611,9	84,4	345,7	56,4	177,3	6,15
Nutrientes de RV (estimado, S y Cl no incluidos), MPM, Sitio 5								
Pre-Proyecto								
2007	129,0	15,8	388,0	29,2	28,8	0,0	0,0	0,16
2008	110,1	13,5	331,2	24,9	24,6	0,0	0,0	0,14
2009	95,2	11,7	286,3	21,5	21,3	0,0	0,0	0,12
2010	48,0	5,9	144,4	10,9	10,7	0,0	0,0	0,06
Total	382,2	46,9	1.150,0	86,4	85,4	0,0	0,0	0,48
Nutrientes Totales, REF, Sitio 5								
Pre-Proyecto								
2007	211,3	27,7	128,9	18,7	121,0	0,0	0,0	1,8
2008	145,3	29,5	135,4	19,8	0,3	0,0	0,0	0,0
2009	132,4	5,5	94,9	3,8	109,6	0,0	61,0	0,0
2010	145,4	0,8	198,8	36,3	158,2	21,8	167,2	3,5
Total	634,4	63,5	558,0	78,7	389,1	21,8	228,2	5,3
Diferencia Nutrientes Totales (BMP – REF), Sitio 5								
Pre-Proyecto								
2007	146,6	27,0	434,4	36,4	23,8	0,0	0,0	1,24
2008	88,0	16,6	342,3	26,8	85,5	0,0	0,0	0,18
2009	211,4	19,7	266,0	31,2	34,4	13,0	(48,6)	0,51
2010	(37,7)	12,4	161,2	(2,2)	(101,7)	21,7	(2,3)	(0,62)
Total	408,4	75,7	1.203,9	92,2	42,0	34,7	(50,8)	1,31

Los valores que se muestran son los promedios de los valores individuales de cinco bloques para cada tratamiento. Los valores se estiman a partir de una densidad de siembra de 130 palmas/ha para los bloques mpm, y de 135 palmas/ha para los bloques ref. Los valores negativos se presentan en ().

El Sitio 1, a pesar de tener valores de K foliares por debajo de los niveles críticos en los bloques MPM y REF en todos los años, tuvo el más alto rendimiento global de RFF de los Sitios 1, 3 y 5 (Tablas 6 y 7), y un efecto de manejo del

cultivo relativamente grande en el rendimiento de RFF en los bloques MPM en el Año 4. En los Sitios 3 y 5, los valores de K foliares en los bloques MPM fueron solo marginalmente más altos que en los bloques REF en los últimos años del

Tabla 9. Contenido de nutrientes (en % en materia seca) en tejido vegetal en el proyecto de MPM en tres sitios en Indonesia (los números rojos indican una situación de deficiencia).

	Sitio 1 ²			Sitio 3 ³			Sitio 5 ⁴		
	MPM ⁵	REF ⁶	Dif. ⁷	MPM ⁵	REF ⁶	Dif. ⁷	MPM ⁵	REF ⁶	Dif. ⁷
N %^Z									
Línea de base ⁸	2,456	2,522	-0,066			0,000	2,370	2,456	-0,086
Año 1	2,490	2,474	0,016	2,504	2,476	0,028	2,586	2,610	-0,024
Año 2	2,334	2,376	-0,042	2,544	2,510	0,034	2,614	2,528	0,086
Año 3	2,312	2,256	0,056	2,400	2,494	-0,094	2,722	2,624	0,098
Año 4	2,384	2,340	0,044	2,506	2,456	0,050	2,622	2,624	-0,002
P %^Z									
Línea de base ⁸	0,152	0,153	-0,001			0,000	0,141	0,142	0,000
Año 1	0,158	0,153	0,005	0,166	0,166	0,000	0,158	0,155	0,004
Año 2	0,156	0,159	-0,003	0,175	0,172	0,003	0,158	0,155	0,003
Año 3	0,163	0,157	0,007	0,160	0,159	0,000	0,157	0,149	0,008
Año 4	0,160	0,161	-0,001	0,166	0,168	-0,002	0,159	0,159	0,000
K %^Z									
Línea de base ⁸	0,864	0,894	-0,030			0,000	0,914	0,926	-0,012
Año 1	0,884	0,874	0,010	1,082	1,102	-0,020	1,124	1,058	0,066
Año 2	0,790	0,804	-0,014	1,164	1,110	0,054	1,284	1,150	0,134
Año 3	0,750	0,744	0,006	1,140	1,120	0,020	1,270	1,134	0,136
Año 4	0,852	0,830	0,022	1,090	1,052	0,038	1,158	1,120	0,038
Mg %^Z									
Línea de base ⁸	0,214	0,232	--0,018			0,000	0,272	0,270	0,002
Año 1	0,220	0,228	--0,008	0,194	0,154	0,040	0,226	0,230	-0,004
Año 2	0,230	0,234	--0,004	0,250	0,242	0,008	0,238	0,248	-0,010
Año 3	0,218	0,228	--0,010	0,230	0,214	0,016	0,250	0,262	-0,012
Año 4	0,222	0,256	--0,034	0,230	0,212	0,018	0,230	0,228	0,002

1. Sitio 1: Año sembrado 1994 (1 par de bloques), 1995 (2 pares), 1998 (1 par), 2001 (1 par)

2. Sitio 3: 1989 (3 pares), 1991 (1 par), 1992 (1 par)

3. Sitio 5: 1998 (1 par), 1999 (4 pares)

4. Valores promedio para los bloques MPM

5. Valores promedio para los bloques REF

6. Magnitud de la diferencia observada entre los bloques MPM y REF

7. % N, P, K y Mg en materia seca en los tejidos de los folíolos de la hoja 17, los valores marcados en negrita indican una deficiencia de nutrientes según los criterios publicados en Rankine y Fairhurst (1998)

8. Muestras de la línea de base tomadas antes de la implementación de las MPM.

proyecto (Tablas 8b y 8c, respectivamente), aunque los rendimientos de RFF con MPM fueron claramente mayores (Tablas 6 y 7). La falta de una relación clara entre el contenido de nutrientes individuales de los tejidos vegetales

y los rendimientos relativos sugieren que los niveles críticos de nutrientes pueden no ser un buen indicador de los nutrientes que se requieren para un máximo rendimiento, como ya se he indicado en otras partes (Foster, 2003).

**Tabla 10.** Sección Transversal del Pecíolo¹ (P x S, en cm²) en el proyecto de MPM en tres sitios en Indonesia.

	Sitio 1 ²			Sitio 3 ³			Sitio 5 ⁴		
	MPM ⁵	REF ⁶	Dif. ⁷	MPM ⁵	REF ⁶	Dif. ⁷	MPM ⁵	REF ⁶	Dif. ⁷
Línea de base ⁸	38,1	37,8	0,3	38,6	38,9	(0,3)	25,5	27,0	(1,5)
Año 1	39,9	39,6	0,4	45,2	48,5	(3,3)	28,6	32,0	(3,4)
Año 2	38,6	35,8	2,8	47,2	51,5	(4,3)	32,2	32,8	(0,6)
Año 3	39,6	43,0	(3,4)	50,1	51,7	(1,6)	37,4	35,2	2,2
Año 4	44,7	39,7	5,0	52,6	53,2	(0,6)	43,9	44,7	(0,8)
Promedio ⁹	40,2	39,2	1,0	46,8	48,8	(2,0)	33,5	34,4	(0,9)

1. P x S se estimó a partir del ancho y profundidad del raquis medidos en el punto más bajo de inserción de los foliolos rudimentarios, mediante la ecuación dada por Corley y Tinker (2003, p. 93)
2. Sitio 1: Año sembrado 1994 (1 par de bloques), 1995 (2 pares), 1998 (1 par), 2001 (1 par)
3. Sitio 3: 1989 (3 pares), 1991 (1 par), 1992 (1 par)
4. Sitio 5: 1998 (1 par), 1999 (4 pares)
5. Valores promedio para los bloques MPM
6. Valores promedio para los bloques REF
7. Magnitud de la diferencia observada entre los bloques MPM y REF
8. Muestras de la línea de base tomadas antes de la implementación de las MPM
9. Valores promedios de todas las ocasiones de mediciones.

Entre otros factores, Breure (2003) vinculó fuertemente los indicadores de crecimiento y la eficiencia del dosel a las prácticas culturales y particularmente la nutrición. Si bien nuestros datos no son concluyentes, la indicación es que existe de hecho una relación entre el mejoramiento de la eficiencia del dosel y las MPM de manejo del cultivo relacionadas con la nutrición (los datos no se presentan en este documento).

¿Subfertilizamos o sobrefertilizamos?

Corley y Tinker (3003) sugieren que la rentabilidad de las aplicaciones de fertilizantes es generalmente tan alta que no tiene sentido reducir las dosis de fertilizantes si se corre el riesgo de perder rendimiento. Hemos observado que muchas de las plantaciones que tienen productividades consistentemente altas aplican más fertilizantes que las dosis estándar recomendadas, lo que sugiere que son sensatos y siguen las sugerencias de Corley y Tinker. Hay pocas pruebas experimentales que respaldan o rechazan la hipótesis de que las dosis considerablemente más altas de fertilizantes aumentan los rendimientos.

Hay una población grande de dosis óptimas de fertilizantes, y casi con certeza es mejor sobrefertilizar que subfertilizar debido a la asimetría del riesgo (Corley y Tinker, 2003). Existen grandes variaciones en la respuesta del rendimiento a los fertilizantes, tanto dentro de la plantación como dentro de los bloques individuales y, por consiguiente, un gran número de curvas de respuesta a los fertilizantes. No obstante, las recomendaciones estándar y uniformes se utilizan con frecuencia para secciones completas de las plantaciones, y casi siempre para bloques comerciales individuales. De manera esquemática podemos representar la respuesta a los fertilizantes en un bloque comercial, según la Figura 3. La curva gris representa la respuesta promedio al fertilizante para el bloque a nivel de fertilidad media. La recomendación estándar para este bloque sería de cien unidades de fertilizante que da un rendimiento de RFF esperado cercano a 34 t ha¹, esto es, suponiendo que todo el bloque tiene una respuesta uniforme al fertilizante en el nivel medio. Sin embargo, con toda probabilidad, algunas partes del bloque probablemente sean más fértiles que el promedio, según se representa por la curva negra continua,

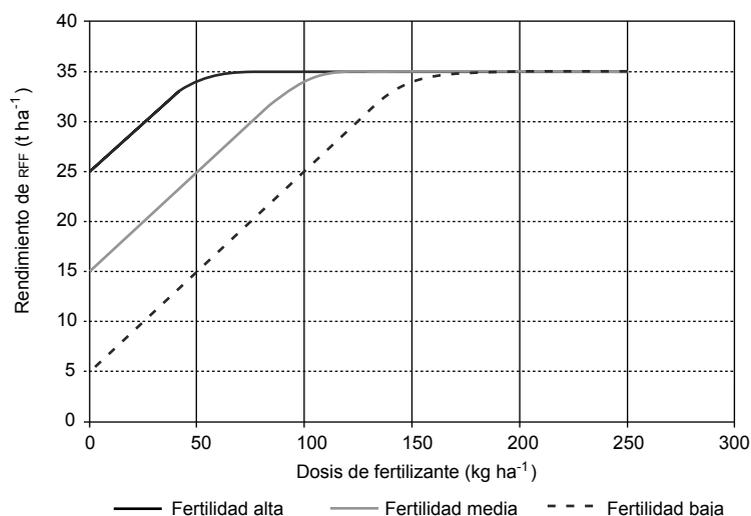


Figura 3. Representación esquemática de las curvas de respuesta a los fertilizantes para un bloque comercial individual.

mientras que otras partes probablemente sean menos fértiles con una respuesta que se representa por la curva negra punteada.

Digamos, para poner un ejemplo, que el bloque es un tercio fertilidad media, un tercio fertilidad baja y un tercio fertilidad alta. Si ahora usamos la dosis estándar de cien unidades para todo el bloque, entonces el rendimiento de RFF esperado será de $(35 + 35 + 25) \times 0,333 = 31,7 \text{ t ha}^{-1}$. Por otra parte, si se aplica el fertilizante a una dosis más alta de 150 unidades (basado en la curva negra punteada de fertilidad baja), entonces el rendimiento de RFF esperado se convierte en 34 t ha^{-1} .

Un resultado más alarmante es lo que ocurre si solo se aplica una dosis más baja de 50 unidades (esto es, basada en la curva negra continua de fertilidad alta): el rendimiento será entonces solamente $(15 + 25 + 34) \times 0,333 = 24,6 \text{ t ha}^{-1}$. Esto es precisamente la asimetría del riesgo que Corley y Tinker (2003) identificaron. Además, muchas recomendaciones de fertilizantes se hacen de acuerdo con la orientación de los resultados de experimentos pequeños, aunque cuidadosamente manejados, donde lo más probable es que los resultados estén más cerca de la curva de respuesta negra de fertilidad alta que de la curva de respuesta gris (media) o negra punteada (baja).

Por tanto, concluimos que se pueden presentar grandes pérdidas potenciales de rendi-

miento debido a la subfertilización de partes grandes de bloques comerciales completos. Esta conclusión es coherente con los resultados observados de los tres sitios del proyecto MPM analizados anteriormente, donde a pesar de la falta de pruebas de las deficiencias de nutrientes en la mayoría de los bloques REF, y esencialmente ningunas diferencias significativas en los niveles de nutrientes en los tejidos vegetales entre los bloques MPM y REF, aun así se presentó una respuesta en rendimiento fuerte a las MPM de manejo del cultivo basada en el mejoramiento de la nutrición.

El problema de la uniformidad dentro de los bloques se complica aun más por la falta de uniformidad genética de las poblaciones de palmas que se siembran en cada bloque comercial. En ausencia de poblaciones clonales uniformes, es probable que cada palma tenga una respuesta específica al suministro de nutrientes. Evidentemente, sería preferible aplicar la cantidad precisa óptima de fertilizantes a cada palma, o por lo menos a cada segmento uniforme de un bloque comercial, mediante el uso de los métodos de la agricultura de precisión. Sin embargo, en la actualidad, esto no es posible debido tanto a la falta de información sobre las respuestas de cada palma a la adición de nutrientes como a la variación de la fertilidad en los bloques comerciales individuales.



Así pues, y particularmente en la ausencia de curvas de respuesta precisas y del conocimiento de las variaciones de fertilidad dentro de los bloques, parecería recomendable sobrefertilizar siempre y cuando las normas ambientales se puedan obedecer. La sobrefertilización de partes de los bloques comerciales elevará los costos, pero también es más probable que proporcione mejores resultados. El aumento en las aplicaciones de nutrientes están efectivamente en sintonía con los Principios y Criterios definidos por la Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible (RSPO) para la producción sostenible de palma de aceite, específicamente el Criterio 4.2 (las prácticas mantienen la fertilidad del suelo, o donde sea posible la mejoran hasta un nivel que garantice un rendimiento óptimo y sostenido), siempre y cuando las empresas conserven registros de los aumentos en las aplicaciones de fertilizantes y los respalden con análisis periódicos de tejidos y del suelo para monitorear los cambios en el estado de los nutrientes, y evitar impactos negativos sobre el medio ambiente. El Criterio 4.2 reconoce explícitamente la necesidad de tener rendimientos óptimos y sostenidos. Consideramos que los aumentos de los rendimientos en las plantaciones existentes son uno de los mecanismos clave para que la industria garantice la sostenibilidad a largo plazo, y reduzca la necesidad de realizar más expansión de la tierra. El principal inconveniente de este enfoque es la posible contaminación del agua subterránea o de cursos de agua cercanos por la escorrentía de fertilizantes. Debe prestarse cuidadosa atención a estos aspectos negativos en la toma de decisiones. Además, la implementación de un conjunto de indicadores agroecológicos permitirá la evaluación de los riesgos ambientales asociados con las aplicaciones de fertilizantes (véase por ejemplo, Rodríguez *et al.*, 2010).

Lecciones aprendidas de los proyectos en bloques comerciales

Nuestra experiencia con estos ensayos a gran escala demuestra claramente que es posible

mejorar las prácticas de manejo, incluso en plantaciones maduras bien manejadas, y aumentar el rendimiento. La gran escala de los ensayos no los hace necesariamente más costosos que los ensayos en parcelas convencionales a menor escala. De hecho, son casi seguramente más baratos ya que requieren relativamente pocas modificaciones de las operaciones comerciales, y no causan mayores alteraciones en el manejo cotidiano de las plantaciones involucradas. Además, debido a la gran escala y al hecho de que el personal de las plantaciones está involucrado en la creación y observación de los ensayos, ellos tienden a creer en los resultados y a adoptarlos más rápidamente. Esto se puso de relieve con los protocolos de recuperación del cultivo que resultaron tan obviamente beneficiosos que se adoptaron en los bloques REF en el Sitio 5 antes que finalizara el ensayo. Lo anterior llama la atención debido a la facilidad para probar las MPM de recuperación del cultivo con este método, pero también pone de manifiesto las dificultades inherentes a estos ensayos, que son la falta de un control estricto de todos los factores involucrados y prácticas utilizadas a lo largo del ensayo, así como la complejidad de discernir los efectos de las MPM de manejo del cultivo.

El método es excelente para observar las combinaciones de prácticas de manejo que a los administradores les gustaría probar. Al mismo tiempo, es un medio ineficaz de determinar cómo los factores individuales influyen en la productividad: aunque los científicos e investigadores no se sienten cómodos con esta falta de capacidad para asignar efectos beneficiosos particulares a factores o parámetros específicos y bien definidos. Hemos visto en otros cultivos una tendencia en estos tipos de ensayos para que los científicos impongan una serie de tratamientos con factores individuales en ellos, hasta que finalmente terminan con algo parecido a un ensayo de parcela pequeña típica. Es preciso resistirse a esta tendencia.

Sin embargo, si el método que se expone en este documento (de usar grandes bloques de tamaño comercial con combinaciones de MPM seleccionadas que se consideran que pueden

ser exitosas) se sigue para desarrollar un sistema global mejorado, pueden utilizarse los principios de la investigación operativa para continuar su mejoramiento un factor a la vez. Así, por ejemplo, una plantación que decidió adoptar una determinada combinación de MPM podría estar interesada en la sobrefertilización como una posibilidad de aumentar aún más la productividad. Con solo sobrefertilizar varios bloques y compararlos con los bloques estándar, es posible evaluar el potencial de la sobrefertilización. Sin embargo, este enfoque de la investigación operativa requiere de un excelente registro y análisis cuidadoso de la información obtenida. Además, la validación de las conclusiones en una plantación puede reforzarse por la corroboración de otras plantaciones.

Teniendo en cuenta estas ideas, se puede concebir un sistema de lo que denominamos como *inteligencia de plantación*. Se trata de varias empresas, plantaciones y cultivadores que evalúan una serie de prácticas a nivel de bloques comerciales, seguido del intercambio de la información para comparar los resultados en todas las regiones, en lugar de hacerlo solo dentro de su propia plantación. El conocimiento que se genera por este sistema puede luego usarse para mejorar aun más las prácticas comerciales, y todo el ciclo de evaluación, intercambio de información, evaluación y adopción de prácticas innovadoras comienza de nuevo. Este método, por supuesto, depende de la organización y cohesión social con una organización a nivel de todo el sector que desempeñe un papel de liderazgo (Cock *et al.*, 2011).

Esta reunión demuestra que en Colombia, con Fedepalma y Cenipalma, existe la estructura organizacional para establecer este sistema que podría ayudar a que los cultivadores utilicen sus propias experiencias como fuente de información para desarrollar mejores prácticas de manejo adecuadas para las diversas condiciones en las que se siembra la palma de aceite en el país. En la actualidad, este método es especialmente pertinente en la región de Tumaco en Colombia, donde es necesario desplegar toda una serie de prácticas mejoradas para manejar los híbridos, y en partes de

la Orinoquia donde la palma de aceite está en expansión, y en cualquier otro lugar donde el cultivo se esté extendiendo hacia áreas nuevas.

La variabilidad dentro de los bloques causada por las variaciones genéticas, la topografía y los suelos es un gran obstáculo para la implementación de prácticas mejoradas. En el futuro, la agricultura de precisión ayudará a resolver algunas de estas dificultades. La agricultura de precisión ya se aplica rutinariamente en la producción de palma de aceite en el área de control de enfermedades, con la erradicación de plantas individuales con Pudrición del cogollo (PC), y también con la polinización manual de híbridos. La tecnología de la información moderna hace que este tipo de monitoreo sea mucho más sencillo de lo que era hace diez años. Sugerimos que unas mediciones más precisas de las variaciones dentro de los bloques comerciales completos, tal vez con la marcación de árboles individuales para un monitoreo más preciso, puede ayudar a evaluar la variaciones dentro de los bloques y aportar ideas sobre cómo mejorar el manejo.

Con respecto a la palma de aceite, estamos muy interesados en la producción y rendimiento de APC, y sin embargo, casi todas las prácticas de manejo se evalúan solo en términos de rendimiento de RFF. Actualmente, la selección de parentales para la producción de material de siembra es para las palmas que combinan un alto contenido de aceite y un alto rendimiento de RFF. De ahí en adelante, todo el manejo agronómico está dirigido a incrementar el rendimiento de RFF en la plantación, mientras que las plantas de beneficio se centran en la extracción de APC. En teoría, es posible maximizar el rendimiento de APC con una plantación que produce el máximo rendimiento del cultivo que contiene la máxima cantidad de APC, que la planta de beneficio luego extrae con la máxima eficiencia de procesamiento. Sin embargo, recientemente hemos demostrado que las MPM de recuperación del cultivo en la plantación pueden no ser compatibles con la producción de RFF con máximo contenido de aceite, no obstante los rendimientos de APC siguen siendo más altos con la implementación de MPM (Oberthür *et al.*, 2012). La



contribución de las MPM para la producción de rendimiento, incluidas las MPM relacionadas con la nutrición aquí descritas, no están claras a nivel de bloques comerciales, aunque existen pruebas de experimentación convencional de los efectos vinculados a los nutrientes sobre los contenidos de aceite y almendra (Prabowo y Foster, 1998).

Tal como habíamos supuesto anteriormente que el cultivo disponible real en un bloque comercial no podía conocerse antes de la cosecha sin una nueva práctica como la marcación previa a la cosecha, asimismo se desconoce cuánto aceite contienen los RFF recuperados que se entregan a la planta de beneficio para su procesamiento. Esto sugiere que existe la necesidad apremiante de un medio sencillo para determinar el contenido de aceite de RFF en los bloques comerciales para poder dirigir las prácticas de manejo a la producción de más APC por hectárea en lugar de solo más RFF por hectárea. La metodología de análisis de racimos que hemos desarrollado en nuestros proyectos de MPM (Oberthür *et al.*, 2012) puede presentar un comienzo hacia la consecución de este fin. Más pruebas pueden entonces estar disponibles para poder comprender mejor cómo las MPM relacionadas con la nutrición para el manejo del cultivo influyen en el logro de altos rendimientos de APC.

Por último, como científicos e investigadores, hemos aprendido de esta experiencia que debemos centrarnos en lo que funciona en el campo y no necesariamente dedicar demasiado tiempo en satisfacer nuestra curiosidad científica de por qué funciona.

Conclusiones

La reducción de las brechas de rendimiento en las plantaciones de palma de aceite es posible. Mejores previsiones sobre las cantidades disponibles de racimos de fruta en el campo serán esenciales para afinar otras rutinas de recolección.

Aun no es probable llegar al potencial de rendimiento en los sitios en los bloques de proyectos que proporcionaron los datos para este análisis. A pesar de que los mejores blo-

ques consiguen rendimientos muy altos hay límites, establecidos por el material genético, la gestión pasada y otros factores, en cuanto al incremento que se puede obtener en una plantación establecida con una buena gestión.

El proceso de MPM ha demostrado ser un mecanismo para mejorar el rendimiento incluso en condiciones subóptimas. Para reducir aún más la brecha entre el rendimiento real y el rendimiento potencial en sitio, el vivero y los cultivos en estado inmaduro de desarrollo deben ser administrados bajo un concepto de mejores prácticas de manejo y se debe tener en cuenta la focalización por sitio específico y la variabilidad en la respuesta a las MPM específicas que deban aplicarse.

Se requiere más investigación para entender mejor el impacto de la nutrición en la eficiencia del dosel. Nuestros datos indican que los altos contenidos de nutrientes pueden aumentar la eficiencia productiva del dosel. Sin embargo, nuestros datos no son concluyentes y en la actualidad solo se aportan pruebas de que se requiere más análisis.

Es importante que las plantaciones aprovechen la oportunidad de las ganancias actuales, relativamente estables, para invertir más en investigación y desarrollo y prepararse para los tiempos de baja rentabilidad. En especial, se sugiere a las plantaciones considerar la nutrición como una inversión y no como un costo.

La innovación en I+D para la reducción de la brecha de rendimientos requiere complementar los experimentos de pequeña escala realizados, con un enfoque tradicional para la investigación de nutrientes, con los enfoques que se aplican directamente en los procesos de producción comercial, con el fin de mostrar la variabilidad en los recursos de gestión y producción.

Se requieren análisis inteligentes de los datos de producción comercial existentes para desarrollar y orientar la I + D en un entorno de producción comercial variable, con el fin de orientar de manera sistemática las mejores prácticas de manejo de bloques que puedan responder a ellas con un aumento en los rendimientos.

Agradecimientos

Los datos provienen del Programa del Sudeste Asiático del Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI SEAP) y sus socios del proyecto de MPM en Indonesia, incluidos, en orden alfabético, Permata Hijau Group, PT Bakrie Sumatera Plantations Tbk, PT REA Kaltim Plantations, PT Sampoerna Agro Tbk, y Wilmar International Ltd. El compromiso y el apoyo

de estas empresas asociadas, desde el nivel directivo superior hasta los equipos de plantación especializados que hicieron frente a los desafíos en la ejecución del proyecto, se reflejan en el éxito en cada sitio del proyecto. El IPNI SEAP, Canpotex International Pte Ltd. y K+S Kali GmbH contribuyeron a la financiación del proyecto.



Bibliografía

- Baligar, V.C. y Bennett, O.L. 1986. NPK-fertilizer efficiency - a situation analysis for the tropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 10(2):147-164
- Breure, C.J. 2003. The search for yield of oil palm: Basic principles. En: Fairhurst, T.H. y Hardter, R. (eds.). *Managing Oil Palms for Large and Sustainable Yields*, Singapore: PPI/PPIC-IPI, Singapore, pp.59-98.
- Bruinsma, J. 2009. *The resource outlook to 2050. By how much do land, water use and crop yields need to increase by 2050?* FAO, Rome, Italy.
- Byerlee, D. y Deininger, K.W. 2010. *The global land rush: Can it yield sustainable and equitable benefits?* The World Bank, Washington, D.C.
- Caliman, J.P.; Daniel, C. y Tailliez, B. 1994. Oil palm mineral nutrition. *Plantations, Recherche, Developpement* 1:36-54.
- Chan, K.S. y Chew, P.S. 1984. Volatilization losses of urea on various soils under oil palm. En: Chew P.S. *et al.* (eds.). *Proceedings of the Seminar Fertilizers in Malaysian Agriculture*. Malaysian Society of Soil Science and Universiti Pertanian Malaysia, Kuala Lumpur. pp. 91-103.
- Chan, K.W. 1992. *The manuring of oil palm Elaeis guineensis Jacq.: the advances in fertilizer efficiency and their effects on yield and costs*. Ph.D. thesis submitted to the Faculty of Agricultural Sciences, University of Ghent, Belgium.
- Chan, K.W. 2000. Soils management for sustainable oil palm cultivation. En: Yusof B., Jalani, B.S. y Chan, K.W. (eds.). *Advances in oil palm research*, Kuala Lumpur (Malaysia): Malaysian Palm Oil Board, pp. 371-410.
- Chew, P.S.; Kee, K.K.; Goh, K.J.; Quah, Y.T. y Tey, S.H. 1994. Fertilizer management in oil palms. En: Aziz, B. *et al.* (eds.). *International Conference on Fertilizer usage in the tropics (FERTROP)*, Kuala Lumpur 1992, MSSS.
- Clay, J. 2011. Freeze the footprint of food. *Nature* 475:287-289.
- Cock, J.H.; Oberthür, T.; Isaacs, I.; Laderach, P.R.; Palmer, A.; Carbonell, J.; Victoria, J.I.; Watts, G.; Collet, L.; Lema, G. y Anderson, E. (2011) Crop Management Based on Field Observations: Case Studies in Sugar Cane and Coffee. *Agricultural Systems* 104: 755-769.
- Corley, R.H.V y Tinker, P.B. 2003. *The Oil Palm*. Fourth Edition, Blackwell. 562p.
- Corley, R.H.V. 2005. Palm oil for world food need. *Global Oils & Fats Business Magazine* 2(4):7-13.
- Corley, R.H.V. 2009. How much palm oil do we need? *Environmental Science & Policy* 12:134-139.
- Davidson, L. 1993. Management for efficient cost-effective and productive plantations. En: Yusof B. *et al.* (eds.). *Proceedings of 1991 PORIM International Palm Oil Conference, Module 1 – Agriculture*, PORIM, Kuala Lumpur, 153-167.
- Donough, C.R.; Witt, C.; Fairhurst, T.H. 2010. Yield intensification in oil palm using BMP as a management tool. Proceedings of the International Oil Palm Conference. IOPRI.
- Donough, C.R.; Oberthür, T.; Cock, J.; Rahmadsyah, Abdurrohman, G.; Indrasuara, K.; Lubis, A.; Dolong, T.; Witt, C. y Fairhurst, T.H. 2011. Successful yield intensification with best management practices (BMP) for oil palm at six plantation locations representing major growing environments of Southeast Asia. En: *Proc. PIPOC 2011 Int. Palm Oil Cong. – Agric, Biotech & Sustainability Conf.*, Malaysian Palm Oil Board, Kuala Lumpur, pp.464-469.
- Fairhurst, T.H. 1998. *The oil palm – leaf sampling*. PPI/PPIC/IPI, Singapore.



- Fairhurst, T.H.; Griffiths, W. y Gfroerer-Kerstan, A. 2006. *Concept and Implementation of Best Management Practice for Maximum Economic Yield in an Oil Palm Plantation in Sumatra*. Paper presented at International Oil Palm Conference 2006, Bali, Indonesia.
- FAO. 2006. *World agriculture: towards 2030/2050: Interim report*. Global Perspective Studies Unit FAO, Rome, June 2006.
- Fischer, R.A.; Byerlee, D. y Edmeades, G.O. 2009. *Can technology deliver on the yield challenge to 2050? How to feed the World in 2050*. Economic and Social Development Department FAO.
- Foong, S.F. 1993. Potential evapotranspiration, potential yield, and leaching loss of oil palm. En: Yusof, B. *et al.* (eds.). *Proceedings 1991 PORIM International Palm Oil Conference - Agriculture*. Palm Oil Research Institute of Malaysia, Kuala Lumpur. pp. 105-119.
- Foster, H.L. 2003. Assessment of oil palm fertilizer requirements. En: Oil Palm: Management for Large and Sustainable Yields (Fairhurst, T. y Hardter, R., eds.). Potash and Phosphate Institute (PPI), Potash and Phosphate Institute, Canadá (PPIC) y Int. Potash Inst. (IPI), Singapore: 231-257.
- Foster, H.L. y A. Tarmizi, M. 1988. Variation in the fertilizer requirements of oil palm in Peninsular Malaysia – I. Within the same soil series. *PORIM Bulletin* 6:1-9.
- Foster, H.L. y Prabowo, N.E. 1996. Variation in the potassium fertilizer requirements of oil palm in North Sumatra. En: Darus, A. *et al.* (eds.). *Proceedings of the International Palm Oil Congress (PIPOC) 1996*, Kuala Lumpur: PORIM. pp 143-152.
- Foster, H.L.; A. Tarmizi, M. y Zakaria, Z.Z. 1988. Foliar diagnosis of oil palm in Peninsular Malaysia. En: Halim A. *et al.* (eds.). *Proc 1987 PIPOC* Kuala Lumpur: PORIM and ISP. pp 249-261.
- Foster, H.L.; Chang, K.C.; Dolmat, M.T.; A. Tarmizi, M. y Zakaria, Z.Z. 1985. Oil palm yield responses to Nand K fertilizers in different environments in Peninsular Malaysia. *PORIM Occasional Paper No. 16* Kuala Lumpur: PORIM. 23pp.
- Fry, J. 2010. The Importance of the Global Oils and Fats Supply and the Role that Palm Oil Plays in Meeting the Demand for Oils and Fats Worldwide. *Journal of the American College of Nutrition* 29:245-252
- Gerendás, J.; Donough, C.R. y Oberthür, T. 2011. Sulphur nutrition of oil palm in Indonesia – the neglected macronutrient. En: *Proc. PIPOC 2011 Int. Palm Oil Cong. – Agric, Biotech & Sustainability Conf.*, Malaysian Palm Oil Board, Kuala Lumpur, pp.27-31.
- Goh, K.J. y Hardter, R. 2003. General oil palm nutrition. En: Fairhurst, T.H. y Hardter, R. (eds.). *Managing Oil Palms for Large and Sustainable Yields*, Singapore: PPI/PPIC-IPI. pp. 191-230.
- Goh, K.J. y Teo, C.B. 2011. Agronomic principles and practices of fertilizer management of oil palm. En: Goh, K.J., Chiu, S.B. y Paramanathan, S. (eds.). *Agronomic Principles & Practices of Oil Palm Cultivation*. Agricultural Crop Trust (ACT). pp. 241-318.
- Goh, K.J.; Chew, P.S. y Kee, K.K. 1994. K nutrition for mature oil palm in Malaysia. *IPI Research Topics no. 17*, Berne: International Potash Institute. 36pp.
- Griffiths, W. y Fairhurst, T.H. 2003. Implementation of best management practices in an oil palm rehabilitation project. *Better Crops International* 17:16-19.
- Henson, I.E. 1999. Comparative ecophysiology of oil palm and tropical rainforest. En: Gurmit Singh *et al.* (eds.) *Oil Palm and the Environment – a Malaysian Perspective*. Malaysian Oil Palm Growers Council. Kuala Lumpur. pp. 939.
- Hussin, A. 1995. Ammonia volatilization loss from surface placed urea-treated POME pellets. *Pertanika J. Tropical Agriculture Science* 18:103-107.
- IOI Group Annual Reports http://www.ioigroup.com/Investor/inves_annualreport.cfm
- IPNI. 2012. *4R Plant Nutrition: A Manual for Improving the Management of Plant Nutrition*. Brullsema, T.W., Fixen, P.E. and Sulewski, G.D. (eds.), International Plant Nutrition Institute, Norcross, USA.
- Kee, K.K. y Chew, P.S. 1996. Nutrient loss through surface run-off and soil erosion – implications for improved fertilizer efficiency in mature oil palms. En: Darus, A. *et al.* (eds.). *Proceedings of the International Palm Oil Congress (PIPOC) 1996*, Kuala Lumpur: PORIM, pp. 153-169.
- Kushairi, A.; Tarmizi, A.H.; Zamzuri, I.; Ong-Abdullah, M.; Samsul Kamal, R.; Ooi, S.E. y Rajanaidu, N. 2010. *Production, Performance and Advances in Oil Palm Tissue Culture*. Presented at International Seminar on Advances in Oil Palm Tissue Culture, Jogjakarta, Indonesia. http://isopb.org/docs/P1_Kushairi%20MPOB.pdf
- Lim, K.C. y Chan, K.W. 1995. The anionic effects of chloride and sulphate on growth and yield of palm. En: Jalani *et al.* (eds.). *Proceedings of the International Palm Oil Congress Update and Vision*. PORIM, Kuala Lumpur, Malaysia. pp. 351-359.
- Mesa, J. 2010. XXXIX Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Cali, June, 2010. http://portal.fedepalma.org/congreso/2011/memorias/productividad_Jens_Mesa.pdf
- Mosquera, M.; Fontanilla, C.A.; Martínez, R.; Sánchez, A.C. y Alarcón, W. 2009. Identifying oil palms with ripe bunches before harvesting, IRBBH: a strategy for increasing labor productivity. En: *PIPOC 2009 Int. Palm Oil Cong. - Agri, Biotech & Sustainability Conf*, Malaysian Palm Oil Board, Kuala Lumpur, pp. 993-1006.
- Ng, P.H.C.; Chew P.S.; Goh, K.J. y Kee, K.K. 1999. Nutrient requirements and sustainability in mature oil palms – an assessment. *The Planter*, 75:331-345.
- Ng, S.K. 1977. Review of oil palm nutrition and manuring – scope for greater economy in fertilizer use. *Oleagineux*, 32:197-209.
- Ng, S.K. y Thong, K.C. 1985. Nutrient requirements for exploiting yield potentials of major plantation tree crops in the tropics. En: *Potassium in the agricultural systems of the humid tropics, Proc. 19th Colloquium Int. Potash Inst.*, IPI, Berne. pp.55-69.
- Ng, S.K. y Thamboo, S. 1967. Nutrient contents of oil palm in Malaya. I. Nutrients required for reproduction: Fruit bunches and male inflorescences. *Malayan Agricultural Journal*, 46:3-45.
- Oberthür, T.; Donough, C.R.; Indrasuara, K.; Dolong, T. y Abdurrohman. 2012. Successful Intensification of Oil Palm Plantations with Best Management Practices: Impacts on Fresh Fruit Bunch and Oil Yield. En: Pushparajah, E. (eds.). *Proceedings of the International Planters Conference 2012*. The Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 67-102.
- Ollagnier, M. y Ochs, R. 1972. Sulphur deficiencies in the oil palm and coconut. *Oleagineux* 27:193-198.

- Prabowo, N.E. y Foster, H.L. 1998. Variation in oil and kernel extraction rates of palms in North Sumatra due to nutritional and climatic factors. En: A. Jatmika *et al.* (eds.). *Proc. 1998 Int. Oil Palm Conf. 'Commodity of the past, today and the future'*. Indonesia Oil Palm Research Institute, Medan, Indonesia, pp. 275-286.
- Pujianto, Caliman, J.P.; Widodo, M.A. y Liwang, T. 2006. *Yield response to potassium fertilizer on various ecological systems at oil palm plantations in Indonesia*. Presented at: International Oil Palm Conference. 2006, Bali, Indonesia.
- Pushparajah, E. y Chew, P.S. 1998. Integrated nutrient management for sustaining high yields in plantations tree crops in tropical Asia. En: Proceedings 16th World Congress of Soil Science, Montpellier, France, 20-26, August, 1998.
- Ramankutty, N. 2010. Agriculture and Forests: Recent Trends, Future Prospects. En: Graedel, T. y der Voet, E. (eds.). *Linkages of Sustainability*, 4:11-31. Strüngmann Forum Reports. Cambridge, MA:MIT Press.
- Rankine, I. y Fairhurst, T. 1998. *Field Handbook – Oil Palm Series Volume 3– Mature*. International Plant Nutrition Institute, IPNI, Norcross, USA.
- Rodrigues, G.S.; Verwilghen, A.; Widodo, R.H.; Pujianto y Caliman, J.P. 2010. An Assessment Tool and Integrated Index for Sustainable Oil Palm Production. En: Proceedings of the International Conference on Oil Palm and Environment 2010, Bali, Indonesia. Accessed online 25 Sep 2012 at <http://www.redebiodiesel.com.br/publicacao/18.pdf>
- Tan, K.S. 1976. *Development, nutrient content and productivity in oil palm in inland soils of West Malaysia*. MSc Thesis, University of Singapore.
- Tan, K.S. 1977. Efficient fertilizer usage for oil palm on inland soils. En: Earp, D.A. y Newall, S. (eds.). *International developments in oil palm*. Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur.
- Tarmizi, A.M. y Mohd Tayeb, D. 2006. Nutrient demands of *tenera* oil palm planted on inland soils of Malaysia. *Journal of Oil Palm Research* 18(1):204-209.
- Teoh, K.C. y Chew, P.S. 1988. Use of rachis analysis as an indicator of K nutrient status in oil palm. En: Halim, A. *et al.* (eds.). *Proceedings of the International Palm Congress (PIPOC)1987*, Kuala Lumpur: PORIM and ISP. pp 262-271.
- Tohirudin, L.; Prabowo, N.E. y Foster, H.L. 2006a. *Comparison of the response of oil palm fertilizers at different locations in North and South Sumatra*. Presentado en: International Oil Palm Conference. 2006, Bali, Indonesia.
- Tohirudin, L.; Prabowo, N.E. y Foster, H.L. 2006b. *Changes in the fertilizer requirements of oil palm on the soils of North Sumatra with time*. Presentado en: International Oil Palm Conference. 2006, Bali, Indonesia.
- Xaviar, A. 2000. Fertilizer requirements of oil palms for high yields: some thoughts. En: Goh, K.J. (eds.). *Managing oil palm for high yields: agronomic principles*. Malaysian Society of Soil Science and Param Agricultural Surveys, Kuala Lumpur. pp.74-97.