

Mejoramiento en la eficiencia de la nutrición de la palma de aceite mediante el riego y los materiales de siembra



Chin Tui Lee

ct.lee@feldaglobal.com

Cheuk Weng Chin

Mohd Shahkhirat Norizan

Choon Check Tan

Mohd Salihuddin

Mohd Yusof

Autoridad Federal para el
Desarrollo de Tierras (Felda)

Malasia

Felda Global Ventures Berhad.

Balai Felda, Jalan Gurney Satu

54000 Kuala Lumpur, Malaysia

Zaharah Abdul Rahman

Che Fauziah Ishak

Department of Land Management

Mohamed M. Hanafi

Institute of Tropical Agriculture,

Universiti Putra Malaysia, 43400

UPM Serdang, Selangor Darul

Ehsan, Malaysia.

Palabras CLAVE

Recomendación de fertilizantes,
nutrición potásica, clones, riego.

Fertilizer recommendation, potassium
nutrition, clones, irrigation.

Traducido por Fedepalma

Versión original en inglés
en el Centro de Información
de Fedepalma

Improving the Efficiency of Oil Palm Nutrition Through Irrigation and Planting Materials

Resumen

Las concentraciones de nutrientes en las hojas de las palmas de aceite indirectamente proporcionan un indicador sobre el estado de sanidad de la palma. Esta información será utilizada por los agrónomos para formular los requerimientos de fertilizantes adecuados para aplicar a las palmas y así obtener buen crecimiento y alta productividad. La mayoría de las investigaciones sobre nutrición de la palma de aceite en Malasia fueron realizadas en el periodo comprendido entre 1960 y 1990, utilizando palmas derivadas de materiales de siembra DxP Avros.

Estos trabajos sobre nutrición proporcionaron una referencia para las concentraciones óptimas de nutrientes de las hojas como estándar de comparación para la industria palmera. Con el correr de los años, en esta industria surgen materiales de siembra de diversos orígenes, más nuevos y de más alto rendimiento y ahora hay datos disponibles que muestran algunas diferencias en las concentraciones de nutrientes en las hojas en comparación con los datos más antiguos.

La distribución de las lluvias en las zonas del interior de Malasia es por lo general desigual, y se sabe que afecta el crecimiento y la producción de la palma de aceite. Se dispuso un ensayo de riego en 1999 en el Centro Tun Razak para Servicios Agrícolas, Jerantut, Pahang, Malasia (3° 52' 55" Norte, 102° 43' 41" Este).

Un estudio extenso y simultáneo, publicado recientemente, mostró que las concentraciones de nutrientes en las hojas de la palma de aceite en la



etapa productiva ascendente (2004-2007, 5-8 años después de sembrada) fueron afectadas por el genotipo, el riego y el terreno. Por tanto, los principales puntos para discutir en este trabajo son el entendimiento de la eficiencia de la nutrición de la palma en relación con los materiales de siembra y el riego en la etapa productiva principal (2008-2011, 9-12 años después de sembrada).

Se detectaron variaciones de las concentraciones de nutrientes en las hojas en cuatro materiales clonales de palma de aceite, a saber, Avros, Yangambi, La Mé y Nifor, así como dos híbridos DxP Yangambi, cultivados en campos aterrizados y no aterrizados, sometidos a condiciones de riego y no riego. En las condiciones actuales favorables para el cultivo, no se presentaron diferencias significativas en los valores de nutrientes en las hojas para las condiciones tanto del terreno como de riego.

Abstract

Leaf nutrient concentrations in oil palm trees indirectly provide an indicator on the status of palm health. This information will be used by the agronomists to formulate an appropriate fertilizer requirement to be applied to the palms to obtain good growth and high yield. In Malaysia, most of the oil palm nutritional research was carried out in the 1960's to 1990's using palms derived from DxP Avros planting materials.

These nutritional works provided a reference for optimal leaf nutrient concentrations as a benchmark to the oil palm industry. Over the years, newer and higher yielding planting materials which are quite diverse in origins become available in the oil palm industry and new data are now available that showed some differences in the leaf nutrient concentrations as compared to the older data.

Rainfall distribution in inland areas of Peninsular Malaysia is generally uneven, and is known to affect the growth and production of oil palm. An irrigation experiment was laid out in 1999 at the Tun Razak Centre for Agricultural Services, Jerantut, Pahang, Malaysia (3° 52' 55" North, 102° 43' 41" East).

An extensive and concurrent study which was published recently showed that leaf nutrient concentrations in oil palm at the ascending yielding stage (2004-2007, 5-8 years old planting) were affected by genotype, irrigation and terrain. Therefore, understanding the efficiency of palm nutrition in relation to planting materials and irrigation at prime yielding stage (2008-2011, 9-12 years old planting) are the main focus to be discussed in this paper.

Variations of leaf nutrient concentrations were detected in four clonal oil palm materials namely, Avros, Yangambi, La Me and Nifor as well as two DxP hybrids Yangambi, grown on terraced and unterraced fields subjected to irrigated and non-irrigated conditions. Under present favourable growing conditions, there were no significant differences in all the leaf nutrient values for both terrain and irrigated conditions.



Introducción

En el sudeste de Asia la palma de aceite se ha sembrado extensamente en Malasia e Indonesia donde se ha convertido en un importante productor de aceite vegetal en el mundo y ha contribuido con casi el 27% del total del aceite vegetal a escala mundial (FAO, 2012). En la actualidad, se han sembrado más de 13 millones

de hectáreas de tierra con palma de aceite, y se han cultivado en ambientes agroclimáticos muy diversos. Además de sostener un alto rendimiento de aceite a través de materiales de siembra élite seleccionados, estas palmas deben poder cultivarse bien en condiciones marginales e incorporarse con buenas prácticas

agronómicas para garantizar que se pueda lograr un rendimiento respetable.

Se habían abordado diversos enfoques a través de programas de mejoramiento (Rajanaidu *et al.*, 2000; Mohd. Din *et al.*, 2005), tales como: (a) mejorar el rendimiento de aceite, (b) menor altura de las palmas, (c) resistencia a enfermedades, (d) características fisiológicas deseadas (número de racimos, materia seca total y materia seca de racimos), y (e) explotación de las interacciones genotipo-ambiente (GxA).

En las últimas décadas, la mayoría de los programas de mejoramiento asignaron una alta prioridad a los ejes principales y menos énfasis a las perspectivas agronómicas, aun cuando varios estudios habían demostrado que existían interacciones genotipo-fertilizantes en el rendimiento de racimos y la producción de aceite y almendras de palma de aceite (Corley *et al.*, 1988; Corley *et al.*, 1995; Donough *et al.*, 1996; Lee y Donough, 1993; Kushairi, Rajanaidu y Jalani, 1988).

A lo largo de los años, la mayoría de los trabajos de investigación nutricional llevados a cabo en palmas utilizaron materiales de siembra DxP Avros exclusivamente. Estos proporcionaron una referencia para las concentraciones foliares de nutrientes óptimas como parámetro para la agroindustria de la palma de aceite para formular sus requerimientos de fertilizantes (Goh y Hardter, 2003; Fairhurst *et al.*, 2005). Por tanto, comprender el comportamiento de la eficiencia de la nutrición de las palmas en relación con los materiales de siembra cultivados en ambientes especiales es crucial para proporcionar recomendaciones de fertilizantes por sitio específico.

Los costos de los fertilizantes habían aumentado a lo largo de los años, de 110-150 dólares/ha en la década de 1990 a más de 700 dólares/ha en 2008 (Tang, Nazeeb y Loong, 1999), debido principalmente al brusco aumento de sus precios, en especial de los fertilizantes potásicos y las dosis más altas de fertilizantes utilizadas.

Estudios extensivos y concurrentes demostraron que las concentraciones foliares de nutrientes en palma de aceite se vieron afectadas por el genotipo, el riego y el terreno (Lee *et al.*, 2011a y 2011b). Las variaciones de las con-

centraciones foliares de nutrientes se detectaron en cuatro materiales clonales de palma de aceite, a saber, Avros, Yangambi, La Mé y Nifor, así como dos híbridos DxP Yangambi que se sembraron en Pahang (Malasia). Se observaron importantes diferencias en las concentraciones foliares de nutrientes para todos los materiales de siembra.

Los resultados revelaron que la concentración foliar de K para el híbrido DxP Yangambi-DQ8 fue consistentemente más baja que para Avros-A122 en casi 15-20% en todas las condiciones de cultivo. Por el contrario, los contenidos foliares de K para Yangambi-DQ8 y Yangambi-Y103 fueron comparables a los de Avros-A122, y estos tres materiales de siembra produjeron los mayores rendimientos de aceite de más de 8,7 toneladas/hectárea de producto económico total en la etapa productiva ascendente (edad de las palmas de 5-8 años).

Se reportó una gran respuesta en rendimiento de las palmas de aceite en los ambientes secos con riego tanto en Malasia (Lee, Izwanizam y Nga, 2008) como en Tailandia (Palat *et al.*, 2008), ya que el alto rendimiento de aceite alcanzado en la etapa productiva ascendente a través de materiales de siembra y riego se habían reportado en otras partes. Por consiguiente, el punto central de este trabajo es comprender la eficiencia de la nutrición de las palmas en relación con los materiales de siembra y el riego en la etapa productiva principal.

Materiales y métodos

Lee *et al.* (2011a) examinaron el desempeño del rendimiento en siembras de 5-8 años de edad (fase productiva ascendente), y este artículo compartirá y comprenderá la eficiencia de la nutrición de las palmas durante el pico de la etapa productiva principal en un período de cuatro años (2008-2011).

En 199 se estableció un experimento en el Centro para Servicios Agrícolas Tun Razak en Jerantut, Pahang (Malasia) (3° 52' 55" Norte, 102° 43' 41" Este). Esta región es moderadamente húmeda, con una precipitación anual media de alrededor de 1900 mm y con dos periodos



moderadamente secos (enero a marzo y julio a agosto), cada una con una duración de 2-3 meses más un periodo monzónico muy lluvioso de octubre a diciembre (Foong y Lee, 2000). Se utilizó el método de plataforma para irrigar las palmas en las áreas onduladas y aterrazadas (Lee y Romzi, 2000). El riego se llevó a cabo para satisfacer la demanda de la evapotranspiración de 5,0 a 6,0 mm/día. En general, la frecuencia fue de aproximadamente una vez cada 5-7 días o aproximadamente 285 litros por día.

Materiales de siembra y densidad de siembra

Para este estudio se eligió un total de seis materiales de siembra de palma de aceite de diversos orígenes, a saber: (a) clon Avros-A122, (b) clon La Mé-L110, (c) clon Yangambi-Y103, (d) clon Nifor-N114 y dos híbridos DxP, (e) Yangambi-DQ8 (ML161 que representa el material de siembra comercial actual) y (e) Yangambi-SC3. Las palmas se sembraron en dos terrenos, esto es, ondulado (pendiente de 2-5°) y aterrazado (pendiente de 6-12°). En el área ondulada, las palmas se sembraron a una densidad de 136 palmas/ha y en la aterrazada a 128 palmas/ha.

Muestreo foliar y análisis de tejidos

La hoja número 17 de la palma de tratamiento se utilizó para determinar el estado nutricional de las palmas. Se hicieron muestras de diez folíolos de cada lado de la mitad de la hoja. El tercio medio de los folíolos se submuestreó para realizar análisis de nutrientes. Los folíolos se limpiaron con un paño húmedo y después de eliminarles las láminas; posteriormente se cor-

taron en pedazos de aproximadamente 2 cm de largo y se colocaron en bolsas de papel etiquetadas, luego se secaron a 80 °C durante cuatro horas. Después, las muestras se trituraron hasta pasar por un tamiz de 1 mm y se guardaron en bolsas plásticas etiquetadas. Las muestras secas se analizaron en el laboratorio para obtener información acerca de los siguientes nutrientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), cloro (Cl) y boro (B), siguiendo las metodologías establecidas en la normas (1980) del Instituto de Investigación Industrial y de Normas de Malasia (Sirim).

Se desarrolló una ecuación basada en las mediciones reales de la sección transversal del pecíolo y su peso seco foliar real, W (g), que es $W = (P \times 0,05) - 0,9234$ (A1), donde P es la sección transversal del pecíolo.

Para la estimación del respectivo contenido foliar de nutrientes por hoja (g), se utilizó el valor medio a lo largo de cuatro años de la sección transversal del pecíolo (P), y la materia foliar seca se derivó de la ecuación (A1).

Fertilizantes aplicados

Los fertilizantes aplicados se presentan en la Tabla 1.

Análisis de los componentes de los racimos

Para cada tipo de material que se sembró en condiciones de riego y terreno, por lo menos se cosecharon sesenta racimos durante el periodo de cuatro años. Estos racimos se pesaron y se llevaron al laboratorio para su análisis y el contenido de aceite y almendra de los

Tabla 1. Tipos y cantidades de fertilizantes aplicados.

Año	Nutriente aplicado (kg/palma/año)							
	N	P	K	Mg	Ca	B	S	Cl
2008	0,893	0,297	1,728	0,204	0,658	0,000	1,295	1,631
2009	1,027	0,371	1,623	0,244	0,822	0,011	1,504	1,532
2010	0,995	0,371	1,574	0,244	0,822	0,011	1,468	1,485
2011	0,945	0,371	2,241	0,244	0,822	0,000	1,410	2,115

frutos se determinó según lo descrito por Blak, Sparnaaij y Menendez (1963).

Análisis de datos

El experimento se estableció como un ensayo factorial $2 \times 2 \times 6$ compuesto por dos tipos de riego, dos terrenos y seis materiales de siembra en un diseño de bloques completos al azar (RCBD, por su sigla en inglés) con dos repeticiones. Debido a la limitación de ramets en algunos clones, se utilizaron parcelas de tamaños desiguales. Para los registros de datos, se utilizaron el núcleo interno de la repetición uno con dieciséis palmas (4×4) de las parcelas de palmas 6×6 y de la repetición dos con cuatro palmas (2×2) de las parcelas de palmas 4×4 . Debido a las dos repeticiones para cada tratamiento, el análisis utilizado es para promediar y limitar los efectos de los materiales de siembra ($n=8$). Para la separación de las medias, se realizó la prueba HSD (Diferencia Honestamente Significativa) de Tukey. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el paquete SAS versión 9.0 para Windows (2002).

Resultados

Efecto del riego en las concentraciones foliares de nutrientes

No se presentaron diferencias significativas en las concentraciones foliares de nutrientes a excepción de K y B foliar (Tabla 2). La concentración foliar de nutrientes de K disminuyó significativamente ($p \leq 0,05$) en condiciones de riego y se redujo en 5% en comparación con las palmas sin riego. Por el contrario, en condiciones de riego, las concentraciones foliares de nutrientes de B mejoraron en 11% en comparación con las palmas sin riego.

Efecto del terreno en las concentraciones foliares de nutrientes

En la medida en que la edad de las palmas fue aumentando, las concentraciones foliares de nutrientes no mostraron diferencias signifi-

cativas en los dos sitios evaluados, esto es, el terreno ondulada y el aterrazado.

Efecto del material de siembra en las concentraciones foliares de nutrientes

Todos los materiales de siembra presentaron diferencias significativas en todas la concentraciones foliares de nutrientes, con excepción de S y B foliar que no fueron significativamente diferentes.

Por lo general, parecía que los materiales de alto rendimiento como Avros-122, Yangambi-Y103, La Mé-L110 y DxP Yangambi-DQ8 eran capaces de retener concentraciones foliares de nutrientes razonablemente altas. Sin embargo, hubo una expresión foliar de K claramente inferior para estos materiales de alto rendimiento, entre los cuales el más obvio fue (DQ8) de origen Yangambi, que consistentemente mostró menor K foliar en casi un 20% en comparación con Avros-A122. Además, la concentración foliar de Mg para La Mé fue también inferior en casi un 31% en comparación con Avros-A122.

Los materiales de más bajo rendimiento, tales como Nifor N114 y Yangambi-SC3, consistentemente registraron menores concentraciones foliares de Ca y Mg y resultaron, en general, en concentraciones más bajas de cationes foliares totales (CFT) en $< 72\%$ de CFT (Tabla 3).

Contenidos foliares de nutrientes

Casi todos los contenidos foliares de nutrientes mostraron diferencias significativas para las condiciones de riego y terreno, con excepción de K, Ca y Cl (en condición de riego) y de Mg, Cl y B (en condición de terreno) que no fueron significativamente diferentes (Tabla 4). Todos los materiales de siembra mostraron diferencias significativas en todos los contenidos foliares de nutrientes.

Rendimiento de racimos de fruta fresca (RFF)

Riego

El régimen de lluvias mejoró y se distribuyó uniformemente a lo largo del tiempo con

**Tabla 2.** Efecto del riego, el terreno y los materiales de siembra en las concentraciones foliares de nutrientes y sus resultados del Anova.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	B
	(%)						(mg/kg)	
Todos los valores se promedian sobre 6 materiales de siembra y 2 condiciones de terreno								
Riego	24	2,64±0,02a	0,169±0,002a	1,00±0,02b	0,72±0,02a	0,195±0,008a	0,15±0,003a	16,58±0a
Con riego (CR)	24	2,65±0,02a	0,168±0,001a	1,05±0,03a	0,74±0,02a	0,191±0,008a	0,15±0,003a	14,88±0b
Sin riego (SR)	100	100	95	97	102	100	100	111
CR/SR (%)								
Todos los valores se promedian sobre 6 materiales de siembra y 2 condiciones de terreno								
Terreno	24	2,63±0,02a	1,02±,03a	0,73±0,02a	0,194±0,008a	0,79±0,002a	0,15±0,02a	16,04±0a
Ondulado (O)	24	2,66±0,02a	1,03±0,02a	0,73±0,02a	0,191±0,008a	0,79±0,003a	0,16±0,02a	15,42±1a
Terraza (T)	99	99	99	99	102	100	97	104
O/T(%)								
Todos los valores se promedian sobre 2 terrenos y 2 condiciones de riego								
Material de siembra								
Clon Fel-da								
Yangambi-Y103	8	2,68±0,02a	0,169±0,001b	1,08±0,02ab	0,80±0,03a	0,235±0,008a	0,15±0,003a	15,38±1a
Nifor-N114	8	2,52±0,02b	0,160±0,001c	0,91±0,03c	0,65±0,02bc	0,192±0,007c	0,14±0,002a	16,25±1a
LaMé-L110	8	2,69±0,05a	0,179±0,004a	1,00±0,02bc	0,72±0,01b	0,144±0,003d	0,16±0,005a	15,25±1a
Avros-A122	8	2,67±0,03a	0,171±0,001b	1,15±0,04a	0,83±0,03a	0,210±0,008bc	0,16±0,004a	16,25±1a
DxP Fel-da								
Yangambi-DQ8	8	2,62±0,02ab	0,163±0,001bc	0,92±0,04c	0,80±0,02a	0,220±0,006ab	0,16±0,005a	16,13±1a
Yangambi-SC3	8	2,67±0,03a	0,169±0,001b	1,08±0,04ab	0,58±0,02c	0,156±0,008d	0,15±0,005a	15,13±1a
Resultados Anova								
Riego (RI)	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**
Terreno (TR)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Material de siembra (MS)	**	**	**	**	**	n.s.	**	n.s.
Interacción (RIxTR)	n.s.	**	n.s.	**	**	n.s.	n.s.	**
Interacción (RIxMS)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
Interacción (MSxTR)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
C.V (%)	3,0	3,1	8,1	7,3	8,1	8,1	9,6	10,5

Nota: Los valores con los mismos alfabetos no son significativamente diferentes entre sí.

n = número de repetición

*P < 0,05, **P < 0,01, n.s., P > 0,05 no significativo. Los grados de libertad son: riego 1, material de siembra 5, terreno 1, interacción riego x material de siembra 5, interacción riego x terreno 1, interacción material de siembra x terreno 5*.

Tabla 3. Cationes foliares totales (CFT) de las palmas de aceite en relación con el riego, el terreno y los materiales de siembra.

Partes de la hoja	Concentración foliar (%)			% Cationes individuales (m.e)				% Distribución de cationes individuales sobre cationes totales			
	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg	total	K	Ca	Mg	Total
Riego											
Con riego	1,00	0,72	0,195	25,45b	35,78a	16,00a	77,24b	32,94	46,32	20,72	100
Sin riego	1,05	0,74	0,191	26,81a	36,88a	15,67a	79,37a	33,78	46,46	19,74	100
Terreno											
Ondulado	1,02	0,73	0,194	26,29a	36,43a	15,70a	78,41a	33,53	46,45	20,02	100
Terraza	1,03	0,73	0,191	25,97a	36,23a	15,98a	78,20a	33,21	46,34	20,43	100
Material de siembra											
Clon <i>Felda</i> Nifor-N114	0,91	0,65	0,192	23,17c	32,33cd	15,75c	71,25cd	32,52	45,37	22,11	100
LaMé-L110	1,00	0,72	0,144	25,53bc	35,75bc	11,85d	73,13cd	34,91	48,88	16,21	100
Avros-A122	1,15	0,83	0,209	29,32a	41,45a	17,22bc	87,99a	33,32	47,11	19,57	100
Yangambi-Y103	1,08	0,8	0,235	27,63ab	39,82ab	19,33a	86,78a	31,84	45,88	22,28	100
DxP <i>Felda</i>											
Yangambi-DQ8	0,93	0,8	0,220	23,66c	39,89a	18,06ab	81,60b	28,99	48,88	22,13	100
Yangambi-SC3	1,07	0,58	0,156	27,48ab	28,78d	12,81d	69,07d	39,78	41,67	18,55	100
CV	8,2	7,3	8,1	8	7,3	8	3,4				

Nota: Los valores con los mismos alfabetos no son significativamente diferentes entre sí.

excepción de los años 2010 y 2011 con 2-4 meses de bajas precipitaciones (Tabla 5). El desempeño del rendimiento medio de RFF para 2008-2011 en condiciones de riego y no riego no fue significativamente diferente (Tabla 6), con ambos ambientes de cultivo capaces de producir cerca de 30 t/ha/año y más de 10,2 t/ha/año de producto económico total. En general, las palmas con riego pudieron expresar mayor proporción de aceite en racimo (Ac/R) (en 5%) y resultaron en mayor rendimiento de aceite y producto económico total en casi 6% en comparación con las palmas sin riego.

Terraza

En la etapa madura de máxima productividad y acompañada de buenas precipitaciones, los rendimientos para ambos ambientes no fueron significativamente diferentes y produjeron casi 30 t/ha/año de RFF y más de 10,4 t/ha/año de producto económico total.

Materiales de siembra

No se observaron efectos significativos en la producción de RFF para los materiales probados. Sin embargo, los materiales de siembra

**Tabla 4.** Efecto del riego, el terreno y los materiales de siembra en los contenidos foliares de nutrientes y sus resultados del Anova.

	n	gramo/hoja							B
		N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	
Todos los valores se promedian sobre 6 materiales de siembra y 2 condiciones de terreno									
Riego									
Con riego (CR)		28,9a	1,9a	10,9a	7,6a	2,1a	8,5a	1,7a	1,8a
Sin riego (SR)	24	26,7b	1,7b	10,4a	7,2a	1,9b	7,8a	1,5b	1,5b
CR/SR(%)	108		109	104	106	111	108	111	123
Todos los valores se promedian sobre 6 materiales de siembra y 2 condiciones de terreno									
Terreno									
Ondulado (O)	24	26,3b	1,7b	9,9b	7,1b	1,9a	7,8a	1,5a	1,6a
Terraza (T)	24	29,3a	1,9a	11,26a	7,7a	2,0a	8,6a	1,7b	1,7a
O/T (%)	90		90	89	92	92	91	88	95
Todos los valores se promedian sobre 2 condiciones de terreno y 2 condiciones de riego									
Material de siembra									
Clon Felda									
Yangambi-Y103	8	16,4b	1,0c	6,6c	4,9c	1,4c	5,2b	0,9b	0,9b
Nifor-N114	8	32,1a	2,0ab	11,6b	8,2ab	2,5a	9,8a	1,8a	2,1a
LaMé-L110	8	33,1a	2,2ab	12,3ab	8,8ab	1,8bc	9,7a	1,9a	1,9a
Avros-A122	8	18,3b	1,2c	7,9c	5,7c	1,4c	6,0b	1,1b	1,1b
DxP Felda									
Yangambi-DQ8	8	30,9a	1,9b	10,9b	9,4a	2,6a	8,8a	1,8a	1,9a
Yangambi-SC3	8	36,0a	2,3a	14,5a	7,7b	2,1ab	9,6a	2,1a	2,1a
Riego (RI)									
Terreno (TR)	*	*	*	n.s.	n.s.	*	n.s.	*	**
Material de siembra(MS)	**	**	**	*	*	n.s.	n.s.	**	n.s.
Interacción (RIxTR)	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Interacción (RIxMS)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
Interacción (MSxTR)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
C.V(%)	12,7	11,9	16,2	11,8	16,9	19,5	15,4	18,2	18,2

Nota: Los valores con los mismos alfabetos no son significativamente diferentes entre sí. n=número de repetición. *P<0,05, **P<0,01, n.s., P>0,05 no significativo. Los grados de libertad son: riego 1, material de siembra 5, terreno 1, interacción riego x material de siembra 5, interacción riego x terreno 1, interacción material de siembra x terreno 5.

Tabla 5. Precipitación (mm) en el sitio del ensayo (3°52'55" Norte, 102°43'41" Este) de 2004-2011.

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Enero	123	55	95	195	152	100	92	284
Febrero	37	36	236	54	76	50	85	14
Marzo	203	48	127	161	377	346	6	292
Abril	239	67	194	75	316	225	197	77
Mayo	185	130	141	224	219	215	197	95
Junio	69	82	172	202	247	182	302	104
Julio	189	176	136	159	284	110	247	87
Agosto	138	69	222	94	261	151	139	219
Septiembre	128	137	253	239	176	127	209	89
Octubre	490	269	256	352	253	216	148	254
Noviembre	243	333	382	159	316	256	255	276
Diciembre	191	351	346	530	248	265	305	154
Total	2.235	1.753	2.560	2.444	2.925	2.243	2.182	1.945

Nota: Las cifras en negrita indican precipitación mensual baja.

obviamente mostraron diferencias significativas en términos de expresión del rendimiento de aceite, rendimiento de aceite de palmiste y producto económico total. Los materiales de siembra de alto rendimiento, tales como Yangambi-Y103, Avros-A122, DxP Yangambi-DQ8 y LaMé-L110 pudieron expresar casi 10,5 t/ha o más.

Discusión

Influencia del riego y el terreno

Lee *et al.* (2011a) reportaron que las palmas con riego en la etapa productiva ascendente (5-8 años de edad en 2004-2007) y cultivadas bajo una distribución desigual de precipitaciones produjeron un 11% más que las palmas sin riego (en 23 t/ha/año de RFF). Sin embargo, las palmas sin riego tuvieron mayores concentraciones foliares de nutrientes de K y Mg, que fueron un 10% más altas que las palmas con

riego. Durante la fase productiva ascendente, las palmas cultivadas en el terreno ondulado produjeron casi el 9% más que en el aterrazado. Sus concentraciones foliares de Mg y B fueron aproximadamente un 10% más altas que en el terreno aterrazado.

Cuando las palmas alcanzaron la etapa productiva principal (9-12 años de edad en 2008-2011) y con buenas precipitaciones distribuidas uniformemente a lo largo del tiempo (Tabla 5), los efectos del terreno no tuvieron influencia en el rendimiento y la concentración foliar de nutrientes, pero algunos de los contenidos foliares de nutrientes sí fueron significativos. Sin embargo, el riego mejoró la proporción aceite a racimo en casi un 5%, lo que llevó a ganancias generales de rendimiento de aceite y de producto económico total. La condición de riego también mejoró las concentraciones y contenidos foliares de nutrientes en comparación con las condiciones

**Tabla 6.** Resumen del rendimiento de los aceites de palma y de palmiste (2008-2011).

Tratamiento	Producto rendimiento de aceite promedio (t/ha)					
	RFF	Rendimiento de aceite		Rendimiento de aceite de palmiste		PET
	(t/ha)	Ac/R(%)	(t/ha)	K/R(%)	(t/ha)	(t ha)
Riego	Todos los valores se promedian sobre 6 materiales de siembra y 2 condiciones de terreno					
Con riego	29,91a	32,88a	9,83a	4,96a	1,48a	10,72a
Sin riego	29,48a	31,39b	9,26b	5,09a	1,50a	10,16b
Adicional con riego (%)	1,5	4,7	6,2	-2,6	-1,1	5,6
Terreno	Todos los valores se promedian para 6 materiales de siembra y 2 condiciones de riego					
Ondulado	29,60a	32,16a	9,52a	5,19a	1,54a	10,44a
Terraza	29,80a	32,11a	9,57a	4,86a	1,45a	10,44a
Adicional con ondulado(%)	-0,7	0,2	-0,5	6,9	6,2	0,0
Material de siembra	Todos los valores se promedian sobre 2 condiciones de terreno y 2 condiciones de riego					
Clon <i>Felda</i>						
Yangambi-Y103	29,86a	34,29a	10,24a	6,23a	1,86a	11,35a
Nifor-N114	29,91a	29,03b	8,68b	2,72c	0,81c	9,17c
La Mé-L110	29,74a	33,38a	9,93a	3,24c	0,96c	10,50ab
Avros-A122	29,03a	33,38a	9,69ab	6,45a	1,87a	10,81ab
DxP <i>Felda</i>						
Yangambi-DQ8	30,09a	33,56a	10,10a	4,92b	1,48b	10,99a
Yangmbi-SC3	29,53a	29,18b	8,62b	6,59a	1,95a	9,78bc
Media del ensayo	29,69	32,14	9,54	5,02	1,49	10,44
Resultados Anova						
Riego (RI)	n.s.	**	*	n.s.	n.s.	*
Terreno (TR)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Material de siembra (MS)	n.s.	**	**	**	**	**
Interacción (RIxTR)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Interacción (RIxMS)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Interacción (MSxTR)	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	n.s.

Nota: Los valores con los mismos alfabetos no son significativamente diferentes entre sí.

Ac/R= aceite en racimo; K/R= palmiste (almendra) en racimo

Rendimiento de aceite= Ac/R (%) x rendimiento medio de RFF (2004-2007)

Rendimiento de palmiste (almendra)= K/R (%) x rendimiento medio de RFF (2004-2007)

PET (producto económico total)= rendimiento de aceite +(0,6) rendimiento aceite de palmiste

*P<0,05 **P<0,01 n.s. no significativo.

de no riego. Por tanto, además de adoptar un manejo de fertilizantes como lo detallan Goh, Ng y Lee (2009), es crucial adoptar buenas prácticas agrícolas, esto es, la conservación de la humedad del suelo y las coberturas del suelo (Foong e Ilangovan, 1999; Lee, Izwanizam y Nga (2008) para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes para la productividad de las palmas.

En resumen, en los actuales ambientes favorables de cultivo y aplicaciones de fertilizantes, las palmas están en capacidad de producir más de 30 toneladas de RFF /ha/año y más de 10,5 toneladas de producto económico total (PET)/ha/año.

Influencia de los materiales de siembra en las concentraciones foliares de nutrientes, contenidos foliares, rendimientos y su requerimiento de nutrientes esperado

Como es obvio, los materiales de siembra tienen una influencia significativa en las concentraciones y contenidos foliares de nutrientes (Tablas 2 y 4), que da como resultado expresiones diferentes en los componentes del rendimiento de aceite (Tabla 6). Este estudio reveló que la producción de RFF no fue significativamente diferente entre los materiales de siembra, y estas tendencias se reportaron en los trabajos anteriores (Lee *et al.*, 2005 y Lee *et al.*, 2011a). Por lo general, la proporción aceite en racimo (Ac/R) de los materiales de siembra élite siguieron siendo más altos que el testigo estándar (Yangambi DxP, SC3), lo que resultó en un rendimiento de aceite 14-17,5% más alto y un 6,1-13,5% más de producto económico total.

Chin *et al.* (2005) reportaron que mediante los programas especiales de mejoramiento genético durante los últimos treinta años, los actuales materiales de siembra élite pueden expresar mayor proporción de aceite en racimo del 26,6 al 30,29%, Con buenas prácticas agrícolas (BPA), el rendimiento de aceite de los materiales clonales, tales como Yangambi-Y103, Avros-A122, La Mé-L110 y DxP Yangambi-

DQ8, fueron capaces de producir más de 10,5 toneladas de producto económico total (PET).

En la edad productiva principal, estas palmas élite produjeron más de 10,5 toneladas de PET, una mejora de más del 24% o un incremento de casi 2 toneladas de PET en comparación con la etapa productiva ascendente (Lee *et al.*, 2011a). Existe preocupación en cuanto a si el estado nutricional actual de las palmas, particularmente la concentración foliar de nutrientes, puede sostener esta producción de altos rendimientos de aceite.

Algunos investigadores han defendido la utilización de fertilizantes nitrogenados y potásicos adicionales para sostener el crecimiento y los altos rendimientos (Zin, 1996). Se han propuesto dosis adicionales de nitrógeno (48,9 kg/ha de N o equivalente a 1,7 kg/palma/año de sulfato de amonio, un incremento del 34,9%) y de potasio (62,7 kg/ha o equivalente a 0,93 kg/palma/año de muriato de potasio, un incremento del 29,4%). Sin embargo, este estudio contradice este supuesto ya que las palmas son capaces de producir más de 10,5 toneladas de PET sin necesidad de nutrientes adicionales.

El presente estudio demostró claramente que todos los materiales de siembra fueron significativamente diferentes en todas las concentraciones y contenidos foliares de nutrientes en los dos periodos de evaluación (esto es, la etapa productiva ascendente y la principal). Los materiales de siembra de alto rendimiento (Yangambi-Y103, Avros-A122, La Mé-L110 y Yangambi-DQ8) registraron concentraciones foliares de nutrientes y cationes foliares totales entre moderados y altos. Al parecer, todos los materiales de alto rendimiento de aceite contenían concentraciones y contenidos foliares de Mg relativamente más altos, a excepción de La Mé-L110.

Foster (2003) reportó que el Mg foliar fue el único nutriente que influyó directamente en el rendimiento de aceite, mientras que el K foliar tuvo un efecto indirecto negativo debido a que deprimió el Mg foliar. Por el contrario, las palmas de más bajo rendimiento (Yangambi-SC3 y Nifor-144), tuvieron concentraciones de nutrientes significativamente más bajas de Ca,



Mg y hasta cierto punto de K foliar, lo que dio como resultado una disminución global de los cationes foliares totales en comparación con los materiales de alto rendimiento.

En Malasia, los resultados de los análisis foliares se utilizan ampliamente para las recomendaciones de fertilizantes en la agronomía de la palma de aceite (Goh y Hardter, 2003). Este estudio indicó que DxP Yangambi-DQ8 (una de las progenies relacionadas con los cruces Yangambi ML161) consistentemente mostró un 20% menos K foliar que los materiales clonales Avros-A122. Esto fue similar a los resultados obtenidos durante la fase productiva ascendente donde su concentración foliar de K fue un 15-20% menor en comparación con Avros-A122 en todas las condiciones de cultivo. A pesar de la expresión foliar más baja de K para Yangambi-DQ8, este retuvo un contenido foliar alto de K, un nivel comparable al de otros materiales de alto rendimiento (Tabla 4). La razón plausible podría deberse a la mayor concentración foliar de Ca ($> 0,8\%$), y concentración foliar de Mg ($> 0,21\%$) en Avros-122, Yangambi-Y103 y DxP Yangambi-DQ8, que resultó en una menor concentración foliar de K (Goh y Hardter, 2005; Foster, 2003). Así pues, el nivel foliar de K de DxP Yangambi (DQ8) fue bajo en 0,92%.

Jacquemard *et al.* (2009) reportaron una situación similar para una progenie con origen de Dabou (DA115D y sus derivados por autofecundación), que presentó altas concentraciones foliares de N, Ca y Cl pero una baja concentración foliar de K. Sin embargo, el presente estudio indicó que hubo una amplia gama de niveles foliares de nutrientes en los diferentes materiales de siembra que recibieron las mismas dosis de fertilizantes, lo que sugiere que se deben reevaluar los niveles foliares críticos para los diferentes materiales de siembra. A este respecto, los ensayos sobre las curvas de respuesta nutricional de las palmas en los materiales seleccionados merecen investigaciones adicionales.

El material La Mé-L110 consistentemente expresó menores concentraciones foliares de K, pero los contenidos foliares fueron comparables a otros materiales de alto rendimiento.

Será interesante observar el desempeño de estos materiales de siembra (absorción más baja de Mg foliar) en las condiciones de cultivo marginales (esto es, área más seca con baja fertilidad del suelo).

Conclusiones

En condiciones de cultivo favorables, no se presentaron diferencias significativas en los valores foliares de nutrientes tanto en las condiciones de terreno como de riego. Como es obvio, los materiales de siembra tienen una influencia significativa mayor en las concentraciones y contenidos foliares de nutrientes, que dan como resultado una expresión similar en la producción de rendimiento de RFF, pero una expresión diferente de manera significativa en los componentes del rendimiento de aceite. De igual modo, se concluye que el actual régimen de fertilización es suficiente para que las palmas produzcan 10,5 toneladas de PET por hectárea. Los nuevos materiales de siembra también tienen una mayor eficiencia en el uso de nutrientes y un PET 9-14% más alto en comparación con el testigo estándar DxP Yangambi SC3.

La concentración foliar de K para DxP Yangambi-DQ8 fue consistentemente más baja en un 20% en comparación con Avros-A122, a pesar de los regímenes similares de fertilizantes que se dieron a todo el sistema de siembra. Aunque la expresión foliar de K fue más baja para Yangambi-DQ8, este mantuvo un contenido foliar de K relativamente alto, que fue comparable al de otros materiales de alto rendimiento. Por tanto, para producir un rendimiento sostenible de aceite en el futuro inmediato, es crucial una mejor comprensión de la relación entre los materiales de siembra y el comportamiento foliar de nutrientes y el rendimiento de aceite.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Sr. S. Paliappan, director Ejecutivo Principal Grupo I+D/gerente general de Felda Agricultural Services Sdn. Bhd. (FASSB), por su permiso para publicar este artículo. Asimismo desean

agradecer las contribuciones de los colegas investigadores de FASSB, especialmente al Sr. Foong Sang Foo (exdirector de la Unidad de Agronomía), quien inició el proyecto en colaboración con la Unidad de Mejoramiento Genético y Cultivo de Tejidos, Dr. Maheran Abu

Bakar, así como al personal de la Unidad de Agronomía, quienes aseguraron el éxito de este proyecto. De igual modo, expresan su agradecimiento al Sr. Goh Kah Joo de Applied Agricultural Resources Sdn. Bhd. y al Dr. Hugh Foster por sus discusiones de gran utilidad.



Bibliografía

- Blaak, G.; Sparnaaij, D.; Menendez, T. 1963. Breeding and inheritance in the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq). Part 2: Methods of bunch quality analysis. *J. of Waifor*, 4: 146-155.
- Chin, C. W.; Ng, W. J.; Junaidah, J.; Shuhaimi, S.; Mohd. Nasruddin, M. 2005. Developing High Oil Yield DxP: The Felda Experience. *Proceeding of the 2005 National Seminar and Advance in Breeding and Clonal Technologies for Super Yielding Planting Materials*, 152-174.
- Corley, R. H. V.; Lee, C. H.; Law, I. H.; Cundall, E. 1988. Field testing of oil palm clones. En: Abdul, H.; Chew, P. S.; Wood, B. J.; Pushparajah, E. (eds.). *Proceedings of the 1987 International Oil Palm Conference, Progress and Prospects on Oil Palm in Agriculture in the Eighties Porim*, Kuala Lumpur, 173-185.
- Corley, R. H. V.; Boonrak, T.; Donough, C. R.; Nelson, S.; Dumortier, F.; Soebagjo, F. X.; Vallejo. 1995. Yield of oil palm clones in different environments. En: Rao, V.; Henson, I. E.; Rajainadu, N. (eds.) *Proceedings Recent Developments in Oil Palm Tissue Culture and Biotechnologies Porim*, Kuala Lumpur, 145-157.
- Donough, C. R.; Corley, R. H. V.; Law, I. H.; Ng, M. 1996. First results from an oil clone x fertilizer trial. *The Planter*, 72, 69-87.
- Fairhurst, T.; Caliman, J. P.; Hardter, R.; Witt, C. 2005. *Oil Palm: Nutrient Disorders and Nutrient Management (Oil Palm Series, Volume 7)*. Pacific Rim Palm Oil Pte. Ltd. and Cirad.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2012. [Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/015/i2490e/i2490e03d.pdf>]. 224.
- Foong, S. F.; Ilangovan, K. 1999. Review of Agronomic Practices for Yield Improvement. *Seminar Perladangan* 1999. Felda Agricultural Services Sdn. Bhd. Septiembre, 14-16.
- Foong, S. F.; Lee, C. T. 2000. Increasing oil palm productivity with irrigation – Felda's Experience. En: Pushparajah, E. (ed.) *Proceedings of the International Planters Conference, Plantation Tree Crops in the New Millennium: The Way Ahead*. The Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur, 227-301.
- Foster, H. L. 2003. Assessment of oil palm fertilizer requirements. En: Fairhurst, T.; Hardter, R. (eds.) *Oil Palm Management for Large and Sustainable Yields*. Oxford Graphic Printers Pte. Ltd., 199-205.
- Goh, K. J.; Hardter, R. 2003. General oil palm nutrition. En: Fairhurst, T.; Hardter, R.; (eds.). *Oil palm management for large and sustainable yields*, Oxford Graphic Printers Pte. Ltd., 199-205.
- Goh, K. J.; Ng, P. H. C.; Lee, C. T. 2009. Fertilizer management and productivity of oil palm in Malaysia. En: Pushparajah, E. (ed.). *Proceedings of the International Planters Conference on Plantation Agriculture and Environment*. The Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur, 49-88.
- Jacquemard, J. C. H.; Ollivier, J.; Erwanda, Edyana, S.; Pepep, P. 2009. Genetic signature in mineral nutrition in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq): a new panorama for high yielding materials at low fertilizer cost. En: *Pipoc International Palm Oil Congress - Agric Biotech. & Sustain. Conf.*, MPOB Kuala Lumpur, 2: 737-773.
- Kushairi, A.; Rajanaidu, N.; Jalani, B. S. 1998. Effects of genotype x fertilizer interaction on bunch yield, oil and kernel production in oil palm. En: *Proc. of Oil and Kernel Production in Oil Palm – A Global Perspective*. Palm Oil Res. Int. Malaysia, 88-108.
- Lee, C. H.; Donough, C. R. 1993. Genotype-environment interaction in oil palm clones. En: Rao, V.; Henson, I. E.; Rajainadu, N. (eds.), *Genotype x environment studies in perennial tree crops*, Porim, Kuala Lumpur, 33-45.
- Lee, C. T.; Romzi, I. 2000. Technique in constructing flatbed and connecting drains for irrigation in oil palm. En: *Kemajuan Penyelidikan Bil*, 35:21-23.
- Lee, C. T.; Nga, S. K.; Romzi, I.; Ismail, H. 2005. Early growth and yield performance of irrigated and non-irrigated oil palms planted on undulating and terraced areas in Peninsular Malaysia. En: *Proceedings of Agriculture, Biotechnology & Sustainability Conference 'Technologies Breakthrough and Commercialization – The Way Forward'*. Sunway Pyramid Convention Centre, 25-29 septiembre, 267-284.
- Lee, C. T.; Izwanizam, A.; Nga, S. K. 2008. Water management for oil palm on inland soils in Peninsular Malaysia. En: Hamdol, J.; Goh, K. J.; Che Fauziah, I.; Lulie, M.; Osumanu, H. A.; Mahomadu B. J.; Alexander, S.; Siva, B. (eds.). *Proceedings of the Soil Science Conference of Malaysia 'Peat and other soil factors in crop production'*, Malaysian Society of Soil Science, 233-247.
- Lee, C. T.; Zaharah, A. R.; Mohamed Hanafi, M.; Mohd. Shahkhirat, N.; Tan, C. C. 2011a. Leaf nutrient concentrations in oil palm as affected by genotypes, irrigation and terrain. *Journal of Oil Palm & the Environment (JOPE)*, 2:38-47.
- Lee, C. T.; Zaharah, A. R.; Chin, C. W.; Mohamed Hanafi, M.; Mohd. Shahkhirat, N.; Tan, C. C.; Wong, M. K. 2011b. Variation of leaf nutrient concentrations in oil palm genotypes and their implication



- on oil yield. Paper presented in *International Society of Oil Palm Breeders Seminar*- 'Breeding For Sustainability In Oil Palm'. 18th noviembre 2011, Kuala Lumpur Convention Centre (KLCC). Malasia, 62-75.
- Mohd. Din, A.; Kushairi, A.; Maizura, I.; Isa, Z. A.; Noh, A.; Rajanaidu, N. 2005. MPOB strategic plan for fast track breeding programmes. En: *Proc. of the 2005 Nat. Sem. Breed. & Clonal Tech.* Seri Kembangan, Selangor, Malasia. MPOB, Bangi, 43-53.
- Palat, T.; Chayawat, N.; Cledon, J. H.; Corley R. H. V. 2008. A review of 15 years of Oil Palm Irrigation Research in Southern Thailand. *The Planter*, Kuala Lumpur, 84 (989): 537-546.
- Rajanaidu, N.; Kushairi, A.; Rafii, M.; Mohd. Din, A.; Maizura, I.; Jalani, B. S. 2000. Oil palm breeding and genetic resources. *Advances in Oil Palm Research*, 171-237.
- SAS. 2002. SAS/STAT User's Guide. Version 9.0, SAS Institute Inc., Cary. North Carolina, (Estados Unidos).
- Sirim. 1980. *Sirim Recommended Methods for Plants Analysis (first revision)* MS 677: PT.1-VII.
- Tang, M. K.; Nazeeb, M.; Loong, S. G. 1999. An insight into fertiliser type and application methods in Malaysian oil palm plantations. *The Planter*, Kuala Lumpur, 75 (876): 115-137.
- Zin, Z. Z. 1996. Assessment of fertilizer requirement in oil palm: Foliar diagnosis and soil analysis. En: *Oil Palm Plantation Management Course*, Porim, 88-94.