

Hacia un diagnóstico nutricional preciso para la palma de aceite, teniendo en cuenta el origen del material de siembra



Jean Ollivier

Cirad, UPR Systèmes de pérennes
F-34398 Montpellier

E. Lamade, B. Dubos

Cirad – Departamento Persyst
– Productividad de los sistemas
basados en cultivos arbóreos – TA
B-34/02 - 34398 Montpellier
Cedex 5 (Francia).

**Erwanda Surya, P. Permadi
Edyana Suryana**

PT. Socfin Indonesia – Jl.K.L. Yos
Sudarso N°106 – Medan 20115 –
Indonesia.

**A. Flori, B Cochard
Jacquemard JC**

Cirad – Departamento bios –
umr agap- TA A-108/01 - 34398
Montpellier Cedex 5 (Francia)

Palabras CLAVE

Origen genético, fertilizantes, nutrición mineral, niveles críticos foliares.

Genetic potential, fertilisation, mineral contents, foliar critical levels.

Traducido por Fedepalma

Versión original en inglés
en el Centro de Información
de Fedepalma

Towards an Accurate Nutritional Diagnosis for Oil Palm Taking into Account the Origin of the Planting Material



Resumen

Los esquemas de selección y mejoramiento de la palma de aceite se centran principalmente en la tasa de extracción de aceite y en el peso de los racimos producidos por palma, conjuntamente con los rasgos de resistencia a enfermedades. A fin de expresar lo máximo del potencial genético, la práctica de una fertilización razonada depende de los resultados de los experimentos de referencia y del análisis de los contenidos de minerales en diferentes órganos de las plantas.

La existencia de requerimientos nutricionales específicos según el material de siembra es aun relativamente desconocida. Por tanto, este factor es tenido en cuenta como criterio de selección del material de siembra.

No obstante, se reportaron diferencias en los niveles foliares entre varios materiales de siembra (Tan y Rajaratnam, 1978). Se observaron deficiencias de magnesio en algunas progenies, así como diferencias en los contenidos de nutrientes entre clones y entre progenies en Costa de Marfil e Indonesia (Caliman *et al.*, 1994; Dubos *et al.*, 1999).

Más recientemente, se han demostrado diferencias significativas entre distintos orígenes del material de siembra en dos bloques genéticos (Aek Kwasan y Aek Loba Timur) de PT Socfindo, plantados en la isla de Sumatra (Indonesia). Dos experimentos adyacentes sobre nutrición, plantados con dos tipos

de material de siembra en la vecindad de los bloques genéticos, también han revelado la influencia genética en los niveles críticos foliares (Jacquemard *et al.*, 2002, 2009).

El realce de los niveles foliares contrastados según el origen genético del material de siembra tiene un efecto importante en la determinación de los niveles críticos que impulsan las recomendaciones de fertilizantes. A fin de refinar las herramientas de diagnóstico, es por tanto necesario desarrollar un montaje experimental teniendo en cuenta un material de siembra más contrastado y profundizar el conocimiento sobre la movilización de los nutrientes a escalas de la planta completa.

Abstract

The selection and breeding schemes in oil palm mainly focus on the oil extraction rate and the weight of bunches produced per tree jointly with disease resistance traits. In order to express the maximum of the genetic potential, the practice of reasoned fertilisation relies on the results of reference experiments and the analysis of mineral contents in different plant organs.

The existence of specific nutritional requirements according to the selected planting material is still relatively unknown. This factor is therefore not taken into account as a selection criterion of the planting material.

However, differences in foliar levels among various planting materials were reported (Tan and Rajaratnam, 1978). Magnesium deficiencies in some progenies have been observed as well as differences in the nutrient contents between clones and between progenies in Ivory Coast and Indonesia (Caliman *et al.*, 1994; Dubos *et al.*, 1999).

More recently, significant differences between different origins of planting material have been demonstrated on two genetic blocks (Aek Kwasan and Aek Loba Timur) of PT Socfindo planted in the island of Sumatra (Indonesia). Two adjacent nutrition experiments planted with two types of planting material in the vicinity of the genetic blocks have also revealed the genetic influence on the foliar critical levels (Jacquemard *et al.*, 2002, 2009).

The highlighting of contrasted foliar levels according to the genetic origin of the planting material has therefore an important effect on the determination of the critical levels driving the fertiliser recommendations. In order to refine the diagnostic tools, it is therefore necessary to develop an experimental setup taking into account a more and more contrasted planting material and to deepen the knowledge on the mobilization of nutrients at the whole plant scale.



Introducción

Los datos de los análisis foliares en los experimentos factoriales se utilizan para producir una superficie de respuesta para determinar el rendimiento agronómico máximo y económico óptimo para ayudar en las recomendaciones de fertilización de las plantaciones comerciales vecinas (Webb, 2008). Los datos de los análisis foliares se emplean tanto en los ensayos como en las plantaciones comerciales

para estimar los requerimientos para la fertilización correctiva cuando sea necesario para incrementar los niveles foliares de nutrientes, con el fin de alcanzar el nivel de nutrientes objetivo para un rendimiento máximo.

El estado nutricional de las hojas está influenciado por muchos factores vinculados a las aplicaciones de fertilizantes, pero también por las condiciones edafoclimáticas, la etapa



de desarrollo de la palma de aceite y la posición de la hoja muestreada. También hay situaciones en las que los indicadores de los folíolos ya no son confiables para el buen manejo de las plantaciones (Dubos *et al.*, 2010).

Infortunadamente se han realizado muy pocos estudios sobre la interacción entre la nutrición y el origen del material de siembra, a pesar de que los mejoradores notaran una variabilidad genética de la concentración foliar de nutrientes en la palma de aceite hace treinta años (Tan y Rajaratnam, 1978).

De hecho, en dos experimentos adyacentes (factoriales NPKMG) llevados a cabo con dos cultivares diferentes que diferían solamente por sus pedigrís en el grupo B (progenitor masculino) (LM2T y LM311P), los resultados obtenidos tienden a probar que los niveles críticos foliares difieren de un tipo de material de siembra a otro (Jacquemard *et al.*, 2002).

Más recientemente, Jacquemard *et al.*, (2009) demostraron que en el germoplasma de PT Socfindo/Cirad en el que los contenidos foliares de nutrientes se han estudiado de tres a siete años de edad, las familias de ancestros pudieron agruparse dentro de grupos específicos correspondientes a sus contenidos foliares de nutrientes relativos.

En este trabajo se presenta un experimento que compara progenies que difieren por los pedigrís en el grupo B (LM2T y L5T). Los resultados experimentales cruzados con datos re-

cientes obtenidos del bloque genético, ambos ubicados en las mismas condiciones ecológicas, ayudan a profundizar el conocimiento en el ámbito de la interacción entre la nutrición y el material vegetal.

Materiales y métodos

Sitio y diseño experimental

La plantación Aek Loba de PT Socfindo está localizada en el sudeste del distrito Medan de Sumatra del Norte, en la isla de Sumatra en Indonesia. La concesión está ubicada en la llanura litoral a lo largo del Estrecho de Malaca y cubre alrededor de 7.900 hectáreas, entre 2° 35' 26" y 2° 39' 02" latitud norte y 99° 33' 27" y 99° 42' 55" latitud este. La altitud promedio es de 35 metros sobre el nivel del mar. La precipitación anual media es de 2.300 mm, bien distribuida a lo largo del año. Los suelos son riolíticos de origen volcánico derivados de material eruptado del lago Toba, comúnmente llamado tufos de Toba.

El experimento agronómico ALCP10 así como el bloque genético Aek Loba Timur están localizados en la misma plantación. Los suelos en Aek Loba son muy arenosos, ácidos y altamente insaturados como se observa en la Tabla 1, con una saturación base que representa solamente el 30% de la capacidad intercambiable de cationes. El Ca representa el 60% de los cationes intercambiables (Tabla 1).

Tabla 1. Propiedades físico-químicas del horizonte de 0-30 cm para el Bloque Genético Aek Loba Timur (ALT) y el experimento ALCP10.

	Tamaño partícula (%)				pH		N (%)	Org. C (%)
	Arena gruesa	Arena fina	Limo	Arcilla	H ₂ O	KCl		
ALT	56	13	10	21	4,6	4,3	0,22	2,16
ALCP10	57	14	12	19	4,7	4,3	0,25	2,60

	P (ppm)		CIC		Intercambiable (meq/100g suelo)				Satur. % Base
	0,25 HCl	Av Bray II			K	Ca	Mg	Na	
	ALT	77,3	21,9	6,16	0,37	1,15	0,35	0,07	31,5
ALCP 10	94,8	21,5	6,84	0,40	1,24	0,31	0,07	28,9	

Experimento agronómico ALCP10

El experimento agronómico ALCP10 se plantó en 2004 como tercera generación de siembra de palma de aceite. Es un diseño factorial K^4Ca^2 subdividido mediante la utilización de cuatro progenies (parcela dividida) con seis repeticiones.

La parcela elemental comprende 36 palmas en seis hileras de seis palmas. Las 16 palmas centrales (cuatro por progenie) se utilizan para coleccionar las muestras foliares y observar los rendimientos.

El objetivo del ensayo es estudiar el efecto de los fertilizantes “libres de calcio” (fosfato diamónico (FDA) – kieserita) en la nutrición potásica de las palmas maduras frente a los comúnmente utilizados en plantaciones comerciales que contienen Ca (superfosfato triple (SFT) / fosfato de roca (FR) – dolomita), y comparar la reacción de las diferentes progenies en términos de la nutrición potásica. Se utilizaron cuatro progenies: la progenie A derivada de (DA 5 D x DA 3 D II) x LM 2 T (ciclo II) y las progenies B, C y D derivadas de (DA 5 D x DA

3 D II) x LM 5 T; las progenies C y D tienen el mismo progenitor Pisífera y solo se diferencian por el progenitor femenino (Figura 1).

El tratamiento con Ca se ha aplicado desde el momento de la siembra, el nitrógeno que aporta el fosfato diamónico en el tratamiento Ca0 se compensa con la urea en el tratamiento Ca1. El tratamiento con K empezó tres años después de la siembra con cuatro niveles diferentes (Tabla 2).

Durante los primeros dos años de experimentación, se observaron las variables de crecimiento (circunferencia del cuello, número de hojas y longitud de las hojas). Los datos de rendimiento individual (número de racimos y peso del racimo) se coleccionaron desde la entrada en producción en el Año 3 (2007) hasta el Año 7 (2011).

Las muestras foliares de la posición 17 se tomaron anualmente en las 192 subparcelas del Año 2 al Año 7 con excepción del Año 5 en el que solo se coleccionaron las principales parcelas (tratamientos con Ca K). Las muestras de raquis se coleccionaron en los Años 6 y 7.

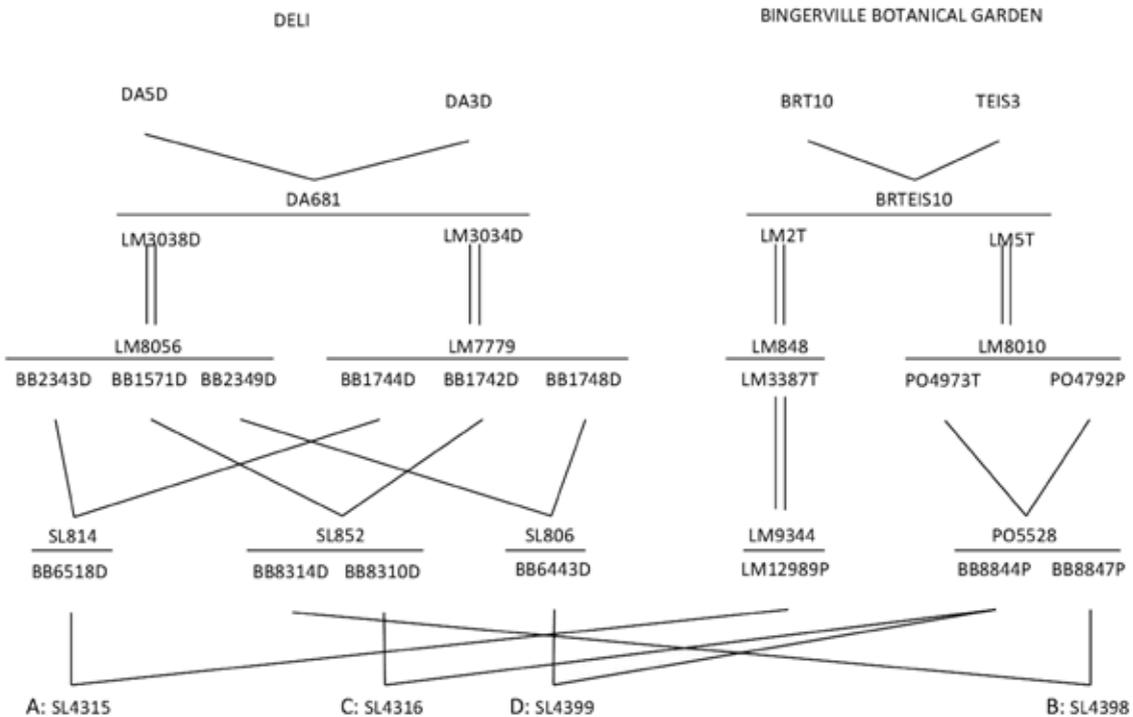


Figura 1. Pedigrí de las cuatro progenies utilizadas en el experimento ALCP10.



Tabla 2. Comparación de las dos formas de fertilizantes aplicados (con o sin Ca) y los cuatro niveles de potasio traídos desde el Año 0 hasta el Año 7 después de la siembra.

Año después de la siembra	Ca 0 (g/árbol)			Ca 1 (g/árbol)			kcl (g/árbol)			
	Urea	fda	Kieserita	Urea	FR/sft	Dolomita	K0	K1	K2	K3
A0	150	400	40	300	600	45	30	30	30	30
A1	1.200	850	375	1.550	850	405	250	250	250	250
A2	2.400	950	700	2.800	950	750	1.800	1.800	1.800	1.800
A3-A4	3.250	1.500	800	3.000	1.500	1.000	0	500	1.500	4.500
A5-A6	2.850	330	800	3.000	500*	1.000	0	500	1.500	4.500
A7	2.730	980	800	3.000	1.500*	1.000	0	250	750	2 250

* SFT remplazado por FR.

Bloque Genético Aek Loba Timur (ALT)

El bloque genético ALT incluye 435 progenies legítimas observadas en 28 ensayos genéticos sembrados desde 1995 hasta 2000 en cuatro grupos de apareamiento conectados: Deli x (La Mé de Socfin o Nifor), Angola x La Mé, Deli x La Mé de Pobé y Deli x Yangambi). Estas progenies cuando se agrupan según sus familias de ancestros, permiten identificar diecisiete familias en el grupo A (en su mayoría de orígenes Deli, progenitor femenino) y catorce familias en el grupo B (progenitor masculino) (Tabla 3). Las aplicaciones de fertilizantes se realizaron utilizando tablas de fertilización estándar del Año 0 al Año 3 y el diagnóstico foliar del Año 4 en adelante. Los puentes genéticos con progenies estándar permitieron vincular todos los ensayos y corregir los efectos ambientales y de la fertilización (Jacquemard *et al.*, 2009).

Se tomaron muestras de las hojas de la posición 17 cada dos años, a partir de los tres años de edad en adelante para evaluar el estado mineral de las progenies. Los datos nutricionales se obtuvieron mediante el análisis de folíolos y, más recientemente, mediante el análisis del raquis en el laboratorio del Cirad en Francia, para los principales elementos N, P, K, Ca, Mg, Cl y B en los folíolos y P, K, Ca y Mg en el raquis.

La razón para vincular la información recopilada de ALCP10 y del bloque genético ALT proviene del hecho que ambos tienen en común el material parental LM2T y LM5T del grupo B.

Procedimientos de análisis estadísticos

Para el experimento agronómico ALCP10, todos los datos recopilados se analizaron estadísticamente con el procedimiento mixto (*software SAS*) y las comparaciones de las medias se evaluaron con la prueba de Tukey.

Para el bloque genético ALT, debido a que los diferentes ensayos no se sembraron el mismo año (por tanto no se observaron en las mismas fechas) y no necesariamente recibieron la misma fertilización, se realizó un análisis de varianza (Anova) preliminar utilizando los cruces “puente” entre los ensayos para estudiar la interacción entre el “efecto cruce”, el “efecto ensayo” y el “efecto edad” para cada elemento mineral.

En un segundo paso, se realizó un Anova de doble vía (procedimiento GLM del *software SAS*) con factores Dura y Ténera/Pisífera en las medias de los cruces de cada uno de los diseños de apareamiento conectados para evaluar la idoneidad de un modelo aditivo. Luego se calcularon las medias por origen de los pro-

Tabla 3. Familias de ancestros probadas en el Bloque Genético Aek Loba Timur.

Subgrupo	Origen A	Subgrupo	Origen B
Deli Socfin	BB 177 D x BB 129 D	La Mé	LM 10 T SELF
Deli Socfin	BB 206 D SELF	La Mé	LM 2 T SELF
Deli Dabou	DA 115 D SELF II	La Mé	LM 2T SELF II
Deli Dabou	DA 5 D x DA 3 D II	La Mé	LM 2 T x LM 10 T
Deli Dabou	DA 10 D x DA 115 D	La Mé	LM 2 T x LM 5 T
Deli Dabou	DA 10 D x DA 3 D	La Mé	LM 2 T x SI 10 T
Deli Dabou	DA 115 D SELF	La Mé	LM 5 T SELF
Deli Dabou	DA 115 D x DA 3 D	La Mé	LM 5 TxLM 10 T
Deli Dabou	DA 300 D x DA 128 D	La Mé	LM 5 TxLM 311 P
Deli Dabou	DA 551 D x DA 767 D	Nifor	PO 1879 TxPO 1876 T
Deli Socfin x Deli Dabou	LM 269 D x DA 115 D	Yangambi Socfin	BB 85 T SELF
Deli Socfin x Deli Dabou	LM 269 D x DA 128 D	Yangambi Socfin	BB 85 TxBB 20 P
Deli Socfin x Deli Dabou	LM 404 D x DA 10 D	Yangambi IRHO	LM 238 TxLM 511 P
Deli Socfin x Deli Dabou	LM 404 D x DA 3 D	Yangambi IRHO	LM 718 TxLM 238 T
Deli Socfin	LM 404 D SELF		
Angola x Deli	LM 5448 T SELF F		

Resaltadas en gris las familias de ancestros utilizadas en ALCP10.

genitores. Las medias ajustadas para el efecto ensayo se calcularon para cada progenie por edad y se utilizaron para calcular la aptitud combinatoria general por origen de los progenitores y por edad.

Resultados

Experimento agronómico ALCP10

Comportamiento contrastado del crecimiento temprano entre los materiales de siembra

El tratamiento con calcio no mostró mucho efecto en las variables de crecimiento; el efecto significativo que se encontró en el número de hojas a los diez meses es probablemente

un artefacto, ya que las otras variables de crecimiento no reaccionaron. El tratamiento con K empezó a la edad de tres años, por tanto no se esperó ningún efecto. Por otra parte, se observaron diferencias significativas entre las progenies. El número de hojas a los diez meses y el número de hojas emitidas por mes durante el periodo de 10-28 meses fueron significativamente más altos para la progenie A en comparación con las otras progenies. La progenie A también presentó hojas más cortas en comparación con las otras progenies. Dentro del material (DA 3 D x DA 5 D) x LM 5 T, la progenie B mostró la menor velocidad de emisión de hojas pero unas hojas más largas en comparación con las progenies C y D (Tabla 4).

**Tabla 4.** Variables de crecimiento observadas del mes 10 al 28 después de la siembra en ALCP10.

Tratamiento	Circunferencia del cuello			No. de hojas 10 meses	Hoja mes ⁻¹	Longitud H9	
	10 meses	18 meses	28 meses			10 meses	18 meses
K0	86,3	162,5	210,5	28,8	2,85	189,7	236,0
K1	86,2	162,9	212,0	28,8	2,89	185,0	238,5
K2	86,1	161,7	211,2	28,9	2,87	185,9	240,6
K3	85,5	160,1	212,6	28,5	2,86	187,2	238,2
Ca0	86,0	162,2	211,7	28,6 b	2,86	186,2	238,5
Ca1	86,0	161,4	211,5	28,9 a	2,87	187,7	238,1
Progenie							
A	88,1 a	164,3 a	212,5	30,5 a	2,94 a	165,8 c	226,7 c
B	87,8 a	164,3 a	211,4	27,9 b	2,81 c	198,9 a	246,4 a
C	84,1 b	158,5 b	211,6	28,2 b	2,85 b	191,8 b	238,5 b
D	84,1 b	160,1 b	210,9	28,4 b	2,86 b	191,4 b	241,7 b
Proba		Pr>F		Pr>F	Pr>F		Pr>F
Nivel K	0,843	0,382	0,141	0,353	0,248	0,352	0,322
Nivel Ca	0,982	0,517	0,775	0,047	0,548	0,438	0,817
progenie	0,000	0,000	0,289	0,000	0,000	0,000	0,000
K*Ca	0,816	0,709	0,816	0,133	0,164	0,888	0,283
K*Progenie	0,983	0,978	0,906	0,186	0,167	0,168	0,701
Ca*Progenie	0,346	0,705	0,701	0,381	0,112	0,986	0,827

Hasta el momento, ningún efecto de los fertilizantes potásicos o libres de calcio en la producción, componentes distintos del rendimiento entre las progenies pero rendimiento similar para tres de las cuatro progenies.

La producción de racimos de fruta fresca (RFF) que se observó hasta el Año 7 fue similar independientemente del tratamiento potásico y con o sin calcio en los fertilizantes aplicados.

Se observaron efectos significativos entre las progenies; en los años 6 y 7, la progenie A produjo más racimos que las progenies B, C y D y la progenie C produjo mucho menos racimos que las progenies B y D. El peso promedio de los racimos fue más alto en la progenie C, la cual siempre produjo los racimos más grandes. La progenie A tuvo un peso de racimos

significativamente menor que las progenies B, C y D. Para la producción global estimada en peso de RFF por año, el rango varió según el periodo; la progenie A pareció ser un iniciador lento en comparación con las otras progenies pero en todo el periodo desde el Año 3 hasta el Año 7, las progenies A, B y D tuvieron rendimientos similares significativamente más altos que la progenie C (Tabla 5).

Resultados de los análisis de los órganos vegetativos.

Los contenidos promedio de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Cl) en los folíolos observados durante el periodo de los años 6 y 7 se presentan en la Tabla 6.

Tabla 5. Resultados preliminares en los componentes del rendimiento observados del Año 3 al Año 7 en ALCP10.

Tratamiento	Número de racimos		Peso promedio racimo (kg)		Racimo de fruta fresca (kg palma ⁻¹ año ⁻¹)								
	A3-A5	A6-A7	A3-A5	A6-A7	A3-5	A6-A7	A3-7						
K0	26,2	16,8	6,87	12,64	180	211	190						
K1	26,1	16,8	6,84	12,68	179	213	191						
K2	26,3	17,3	6,82	12,61	179	218	193						
K3	26,5	17,5	6,83	12,64	181	221	195						
Ca0	26,5	17,2	6,85	12,64	181	217	194						
Ca1	26,1	17,0	6,83	12,64	178	215	191						
Progenie													
A	26,0	18,6	a	6,67	b	12,25	c	174	b	227	a	192	a
B	26,5	17,3	b	6,89	a	12,62	b	183	a	218	b	195	a
C	26,3	15,2	c	6,91	a	12,97	a	182	a	197	c	186	b
D	26,3	17,4	b	6,89	a	12,72	b	181	a	221	ab	196	a
Prob	Pr>F		Pr>F		Pr>F		Pr>F						
Nivel K	0,867	0,214	0,485	0,807	0,887	0,244	0,409						
Nivel Ca	0,383	0,692	0,287	0,906	0,245	0,636	0,274						
Progenie	0,749	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000						
K*Ca	0,435	0,590	0,308	0,688	0,470	0,715	0,567						
K*Prog	0,914	0,241	0,925	0,789	0,922	0,271	0,722						
Ca*Prog	0,486	0,287	0,960	0,061	0,585	0,465	0,823						

Los análisis de la composición foliar media demostraron que los contenidos de K y Cl aumentaron gradual y significativamente en los foliolos con las dosis crecientes de aplicaciones de KCl, pero el umbral significativo no se obtuvo entre K0 y K1. Tal como se esperaba, el contenido de magnesio disminuyó con las dosis crecientes de KCl con diferencias significativas observadas entre K0-K1 y K2-K3.

El efecto del “fertilizante libre de calcio” se observó en el contenido foliar de Ca que es significativamente menor y, con sorpresa, también se observó en el contenido de Cl en los foliolos que es significativamente menor.

El efecto de las progenies es significativo para todas las mediciones del contenido foliar

(N, P, K, Ca, Mg, Cl). La progenie A presentó un alto contenido de N y K y un bajo contenido de Ca y Cl, mientras que la progenie B mostró un bajo contenido de N y K y un alto contenido de P, Ca y Cl. Las progenies C y D, que son genéticamente cercanas, presentaron niveles similares de P, K, Ca y Cl (Tabla 6).

Estas diferencias pueden apreciarse desde el principio de la observación. Las progenies B, C y D derivadas de DA 3 D x DA 5 D x LM5T presentaron contenidos muy similares de N en las progenies C y D que son medio hermanos y son muy parecidas en casi todos los elementos (Figura 2). El contenido de K en el raquis fue mayor que en los foliolos y siguió la misma clasificación con las dosis crecientes de aplicaciones de KCl (Tabla 7).



Tabla 6. Contenido promedio de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Cl) en los folíolos durante el periodo del Año 6-Año 7 después de la siembra.

Tratamiento	Contenido en folíolos					
	N %MS	P %MS	K %MS	Ca %MS	Mg %MS	Cl %MS
K0	2,725	0,171	0,867	C 1,051	0,238 A	0,701 C
K1	2,746	0,171	0,883	C 1,033	0,231 A	0,714 C
K2	2,748	0,171	0,921 B	1,049	0,215 B	0,753 B
K3	2,744	0,171	0,978 A	1,038	0,209 B	0,840 A
Ca0	2,742	0,171	0,914	1,020 B	0,225	0,744
Ca1	2,739	0,171	0,910	1,066 A	0,221	0,760
Progenie						
A	2,887 A	0,171 B	1,026 A	0,915 C	0,217 B	0,637 C
B	2,690 B C	0,173 A	0,839 C	1,116 A	0,231 A	0,855 A
C	2,675 C	0,170 B	0,898 B	1,064 B	0,214 B	0,760 B
D	2,710 B	0,170 B	0,886 B	1,077 B	0,230 A	0,757 B
Prob	Pr>F	Pr>F	Pr>F	Pr>F	Pr>F	Pr>F
Nivel K	0,445	0,959	0,000	0,556	0,000	0,000
Nivel Ca	0,752	0,349	0,704	0,000	0,349	0,115
Progenie	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K*Ca	0,264	0,476	0,891	0,837	0,446	0,375
K*Prog	0,106	0,055	0,006	0,034	0,001	0,000
Ca*Prog	0,805	0,653	0,327	0,539	0,736	0,009

También se observa que los contenidos de P aumentaron en forma significativa en el raquis con las dosis crecientes de aplicaciones de KCl, que no se ve en los folíolos.

De la misma manera, las cuatro progenies se pueden clasificar en tres grupos distintos utilizando el contenido de K en el raquis. También se puede apreciar que la clasificación para el calcio foliar y el calcio en el raquis y para el Mg foliar y el Mg en el raquis presentó diferencias; los valores del raquis para estos dos elementos fueron en menores cantidades por gramo de materia seca (MS), en comparación con los valores de los folíolos. Los contenidos de Mg también disminuyeron en el raquis con las dosis crecientes de KCl, pero de una forma significativamente menor que en los folíolos.

Los niveles observados en el raquis y los folíolos de las diferentes progenies para los niveles contrastados de KCl resaltaron las diferencias de absorción de K entre los orígenes genéticos (Figura 3). En los folíolos, los niveles de K de las progenies B, C y D escasamente alcanzaron el 0,95% cuando se aplicó la dosis más alta de K, mientras que la progenie A estuvo por encima de este nivel sin ningún suministro de KCl.

En el raquis, la absorción de K fue más obvia para todas las progenies, pero de nuevo el nivel alcanzado por la progenie B a la dosis más alta de KCl fue similar al nivel que la progenie A alcanzó con la dosis más baja de KCl.

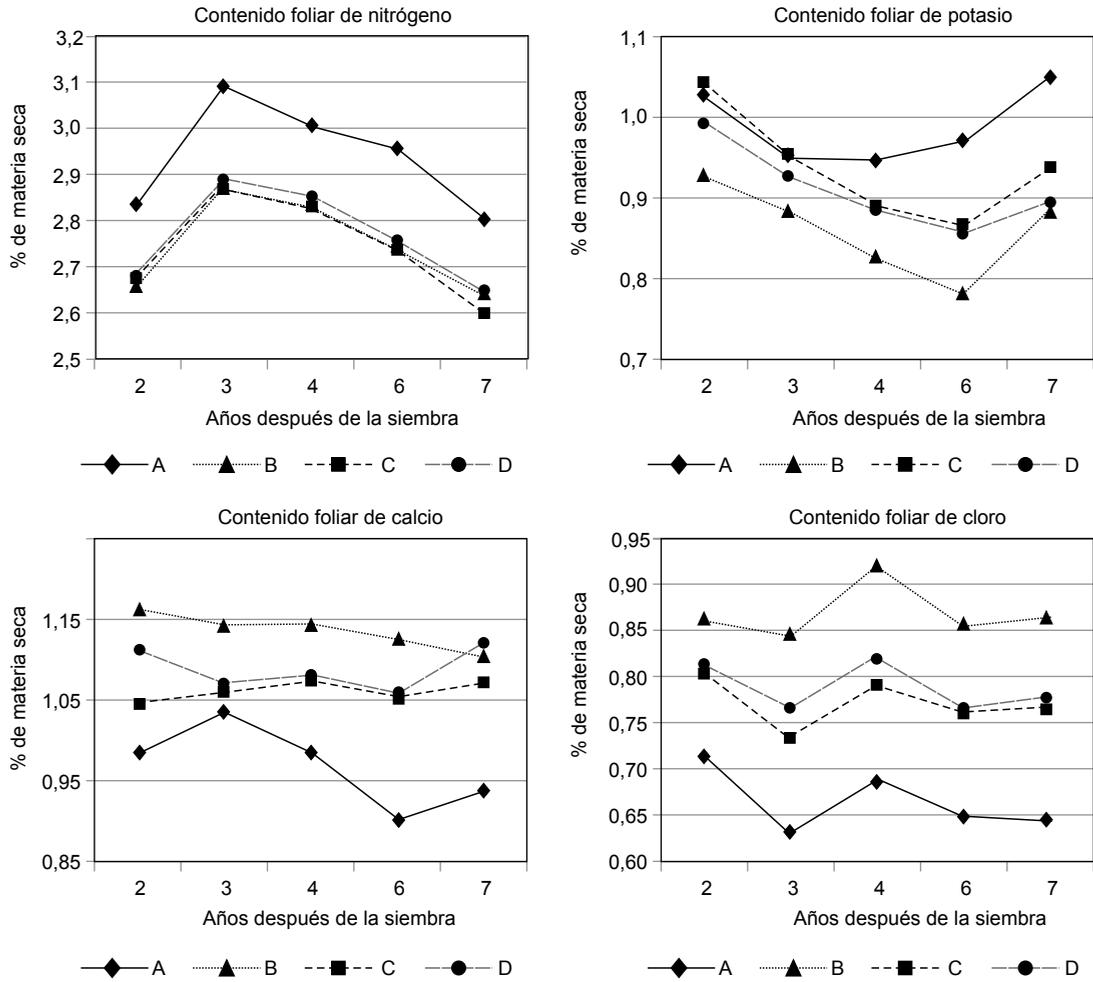


Figura 2. Evolución de los contenidos foliares de N, K, Ca y Cl desde el Año 2 al Año 7 para las cuatro progenies.

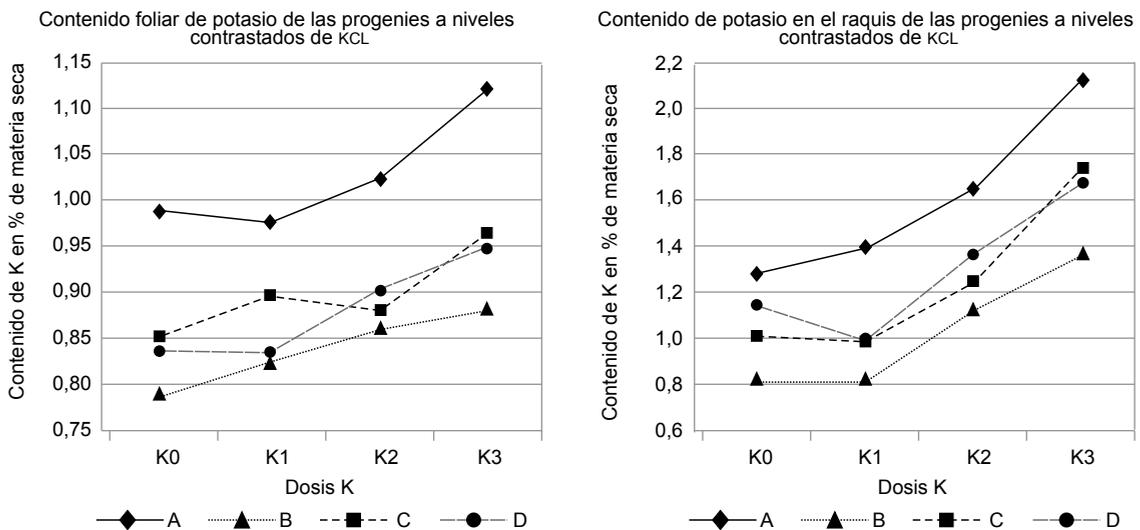


Figura 3. Contenido potásico promedio en el raquis y la hoja a niveles contrastados de KCl por progenie.



Tabla 7. Contenido promedio de nutrientes (P, K, Ca, Mg) en el raquis durante el período Año 6-Año 7 después de las siembra.

Tratamiento	Contenido en raquis							
	P %MS		K %MS		Ca %MS		Mg %MS	
K0	0,080	C	1,060	C	0,459		0,073	
K1	0,084	B C	1,056	C	0,427		0,070	
K2	0,089	B	1,287	B	0,446		0,066	
K3	0,099	A	1,777	A	0,449		0,064	
Ca0	0,088		1,295		0,433	B	0,068	
Ca1	0,088		1,326		0,458	A	0,068	
Progenie								
A	0,084	B	1,651	A	0,364	C	0,068	A
B	0,093	A	1,030	C	0,440	B	0,062	B
C	0,085	B	1,245	B	0,525	A	0,071	A
D	0,091	A	1,317	B	0,451	B	0,071	A
Prob	Pr>F		Pr>F		Pr>F		Pr>F	
Nivel K	0,000		0,000		0,185		0,046	
Nivel Ca	0,807		0,460		0,017		0,710	
Progenie	0,000		0,000		0,000		0,000	
K*Ca	0,663		0,411		0,585		0,533	
K*Prog	0,122		0,002		0,061		0,631	
Ca*Prog	0,899		0,271		0,828		0,685	

Resultados obtenidos del bloque genético ALT

El Anova preliminar con los cruces puente demostró que los valores-F para el efecto principal del cruce fueron por lo menos tres veces mayores que los de las interacciones ensayo x cruce y cruce x edad (Tabla 8). La media de los cruces, ajustada por ensayo y edad, fue entonces significativa para caracterizar el contenido medio foliar de cada cruce para los diferentes elementos.

El Anova de doble vía realizado para cada diseño de apareamiento conectado demostró que la varianza explicada por un modelo aditivo (R^2) fue próxima o superior al 90% para la mayoría de los elementos (Tabla 9). Esta fue ligeramente

menor para el contenido de P en las hojas pero mayor al 70%. La aptitud combinatoria general estimada como las medias de mínimos cuadrados por GLM puede así utilizarse para caracterizar cada progenitor y su descendencia

Las Tablas 10 y 11 resumen los contenidos foliares medios de los principales elementos para los diferentes orígenes de los grupos A y B obtenidos de la aptitud combinatoria general. Los diferentes colores subrayan las posiciones de los orígenes en su grupo; en negrita para valores que exceden la media (m) + la desviación estándar (s); blanco para los valores entre $m+s$ y m ; gris claro para los valores debajo de $m-s$ y, gris oscuro para los valores entre $m-s$ y m . El material parental Dura utilizado en ALCP10 está en *cursiva*.

Tabla 8. Valores-F del Anova para estudiar la interacción entre cruce y ensayo y edad.

Efecto	Valores F						
	N	P	K	Ca	Mg	Cl	B
Ensayo	6,0	10,9	3,8	7,2	7,9	7,0	5,9
Cruce	11,9	8,1	14,2	8,8	23,8	14,4	4,8
Edad	1.211,0	862,8	129,1	648,4	1.161,7	250,3	146,9
Ensayo*cruce	2,1	2,2	2,2	2,3	2,8	2,2	1,6
Cruce*edad	1,5	1,4	1,3	1,2	1,5	1,2	1,4
Ensayo*edad	3,9	4,2	3,7	4,3	3,3	3,2	7,1

Tabla 9. Varianza explicada por un modelo aditivo (R^2) del efecto de los progenitores en la media para los cruces.

Grupo de apareamiento conectado	R^2									
	Foliolo N	Foliolo P	Foliolo K	Foliolo Ca	Foliolo Mg	Foliolo Cl	Foliolo B	Raq K	Raq P	Raq Ca
Deli x (La Mé de Socfin o Nifor)	91,5%	88,2%	87,6%	79,1%	92,9%	88,0%	86,3%	66,7%	86,5%	75,7%
Angola x La Mé	94,5%	72,5%	86,2%	94,1%	90,4%	94,2%	93,3%	72,1%	73,7%	67,4%
Deli x La Mé de Pobé	91,8%	77,9%	91,7%	87,1%	94,3%	93,2%	90,9%	70,7%	76,5%	78,5%
Deli x Yangambi	83,8%	81,3%	88,2%	87,1%	92,3%	88,9%	84,2%	73,5%	88,7%	84,5%

Dos orígenes en el grupo A resultaron contrastados, el origen DA 115 D y todas las familias conectadas se caracterizaron por contenidos altos de N, Ca y Cl y un contenido bajo de K, mientras que las familias Deli Socfin de Bangun Bandar (BB) se caracterizaron con contenidos bajos de N, Ca y Cl y alto contenido de K (Tabla 10). El DA 5 D x DA 3 D de origen Dura utilizado en ALCP10 no se presentó como un origen muy contrastado aunque está por encima del promedio para los contenidos de N, P y Mg y por debajo del promedio para los contenidos de K y Cl.

En el grupo B, los orígenes Yangambi Nifor y Socfin presentaron contenidos bajos de N y alto de K; los orígenes Yangambi IRHO tienen bajos contenidos para todos los elementos a excepción del Mg. Se observaron contrastes dentro del origen La Mé, entre los orígenes LM2T

SELF y LM5T SELF que se utilizan en ALCP10. Se demostró que LM2T tiene contenidos más altos de Ca, Mg y Cl y más bajos de Ca, Mg y Cl en comparación con LM5T (Tabla 11).

LM2T II representa la segunda generación de LM2T SELF, que proviene de dos palmas solamente; por tanto, este grupo no es representativo, ya que se probó en menos casos en el dispositivo genético.

Los contenidos ajustados para cada elemento obtenidos por edad y por origen, agrupados en cuatro clases de dos años: 3-4, 5-6, 7-8 y 9-10 años después de la siembra (Figura 4) fueron sometidos al análisis de componentes principales (ACP). El análisis reveló altos valores Eigen, el primer eje del ACP explica el 69-87% de la variabilidad para los elementos estudiados. Las correlaciones entre las variables fueron muy fuertes.

**Tabla 10.** Contenido foliar medio de N, P, K, Ca, Mg y Cl por origen de A obtenido de la aptitud combinatoria general.

Subgrupo	Origen A	DFN	DFP	DFK	DFCA	DFMG	DFCL
Deli Socfin	BB 126 D x BB 150 D	2,664	0,168	1,130	0,839	0,199	0,696
Deli Socfin	BB 177 D x BB 129 D	2,700	0,166	1,097	0,839	0,203	0,682
Deli Socfin	BB 206 D SELF	2,689	0,168	1,156	0,862	0,216	0,704
Deli Dabou	DA 10 D x DA 115 D	2,808	0,166	0,930	0,925	0,205	0,735
Deli Dabou	DA 10 D x DA 3 D	2,773	0,165	0,971	0,889	0,190	0,701
Deli Dabou	DA 115 D SELF	2,840	0,166	0,894	0,975	0,223	0,756
Deli Dabou	DA 115 D SELF II	2,846	0,167	0,902	0,942	0,233	0,799
Deli Dabou	DA 115 D x DA 3 D	2,805	0,166	0,879	0,953	0,203	0,733
Deli Dabou	DA 300 D x DA 128 D	2,751	0,168	1,027	0,902	0,216	0,746
Deli Dabou	DA 5 D x DA 3 D *	2,763	0,168	0,972	0,918	0,211	0,718
Deli Dabou	DA 551 D x DA 767 D	2,630	0,161	1,003	0,866	0,217	0,630
Deli Socfin x Deli Dabou	LM 269 D x DA 115 D	2,774	0,166	0,943	0,914	0,210	0,723
Deli Socfin x Deli Dabou	LM 269 D x DA 128 D	2,702	0,166	0,981	0,875	0,239	0,665
Deli Socfin x Deli Dabou	LM 404 D x DA 10 D	2,760	0,169	1,076	0,844	0,200	0,707
Deli Socfin x Deli Dabou	LM 404 D x DA 3 D	2,739	0,170	0,994	0,912	0,195	0,758
Deli Socfin	LM 404 D SELF	2,719	0,168	1,003	0,875	0,202	0,704
Angola x Deli	LM 5448 T SELF	2,851	0,167	0,949	0,968	0,205	0,768

* Utilizado en el experimento ALCP10.

La principal lección de este análisis es que el carácter contenido foliar observado en los distintos orígenes sigue la misma tendencia independientemente de la edad.

Discusión y perspectivas

Como se puede deducir del experimento ALCP10 y del análisis de aptitud combinatoria general del bloque genético, los contenidos foliares están estrechamente ligados al tipo de material genético cuando se sitúan en las mismas condiciones ecológicas. En el experimento agronómico, el contenido de Cl, que es reconocido como una fuerza impul-

sora en la absorción de cationes (Ollagnier y Ochs, 1971), aparece más alto y parece favorecer una absorción más pronunciada de Ca en el origen LM5T (grupo B). La menor concentración de Cl y Ca en el origen LM2T (grupo B) parece favorecer una mejor absorción de K.

La concentración foliar de N también es muy contrastada entre los orígenes. LM2T parece estar significativamente por encima de LM5T por su concentración foliar.

El nivel de magnesio se presenta más bajo en LM2T en comparación con LM5T en el bloque genético ALT, al igual que en el experimento agronómico a excepción de la progenie C.

Tabla 11. Contenido foliar medio de N, P, K, Ca, Mg y Cl por origen de B obtenido de la aptitud combinatoria general.

Subgrupo	Origen B	DFN	DFP	DFK	DFCA	DFMG	DFCL
La Mé	LM 10 T SELF	2,820	0,168	0,961	0,953	0,196	0,761
La Mé	LM 2 T SELF *	2,812	0,167	0,965	0,906	0,198	0,741
La Mé	LM 2 T SELF II	2,884	0,170	0,991	0,827	0,186	0,732
La Mé	LM 2 T x LM 10 T	2,811	0,168	0,957	0,929	0,202	0,744
La Mé	LM 2 T x LM 5 T	2,790	0,167	0,960	0,937	0,202	0,732
La Mé	LM 2 T x SI 10 T	2,811	0,172	1,035	0,825	0,219	0,684
La Mé	LM 5 T SELF *	2,733	0,165	0,897	0,989	0,217	0,774
La Mé	LM 5 T x LM 10 T	2,783	0,167	0,903	0,957	0,214	0,760
La Mé	LM 5 T x LM 311 P	2,767	0,163	0,892	1,006	0,243	0,750
Nifor	PO 1879 T x PO 1876 T	2,640	0,166	1,225	0,830	0,175	0,602
Yangambi Socfin	BB 85 T SELF	2,668	0,169	1,106	0,827	0,234	0,682
Yangambi Socfin	BB 85 T x BB 20 P	2,654	0,168	1,180	0,812	0,211	0,704
Yangambi IRHO	LM 238 T x LM 511 P	2,708	0,166	0,988	0,871	0,242	0,655
Yangambi IRHO	LM 718 T x LM 238 T	2,677	0,165	1,001	0,869	0,229	0,673

* utilizado en el experimento ALCP10.

En cuanto al fósforo, que está estrechamente ligado al nitrógeno, los niveles son ligeramente más altos para el origen LM2T en el bloque genético ALT, pero no está muy claro en el experimento ALCP10.

Los niveles observados para varios elementos en el raquis también presentaron concentraciones contrastantes. La concentración de P en el raquis es la mitad de la contenida en los folíolos, pero hay un aumento significativo en los niveles de P en el raquis con las dosis crecientes de KCl. Que no ocurre en los folíolos, lo que lo hace un valioso indicador. También se puede hacer la misma observación para el contenido de K en el raquis que resulta más discriminatorio para recalcar la absorción de K ligada a las dosis de KCl.

Este resultado corrobora los resultados encontrados en Indonesia, que muestran que el efecto de la fertilización potásica y fosfórica en el rendimiento está mejor vinculada a los contenidos en el raquis en comparación con los contenidos en los folíolos (Foster y Prabowo,

2002). Las concentraciones de Ca y Mg en el raquis, que representan aproximadamente un tercio de los niveles encontrados en los folíolos, no proporcionan una mejor información para realizar diagnósticos que las observadas en los folíolos.

Los resultados preliminares del experimento agronómico hasta los siete años de edad demuestran que no hay ningún efecto significativo de la contribución de KCl a la producción. Si suponemos que otros elementos, N, P y Mg se han suministrado en cantidades suficientes con el fin de evitar deficiencias, parece legítimo pensar que las diferencias observadas para cada elemento entre antecedentes genéticos serán las mismas que entre los niveles críticos utilizados para la fertilización para estos mismos antecedentes genéticos.

Como primera aproximación podemos considerar definir los contenidos de potasio para DA 5 D x DA 3 D x LM5T a alrededor de 1% en el raquis y por debajo de 0,9% en los folíolos y definir el contenido de DA 5 D x DA 3 D x

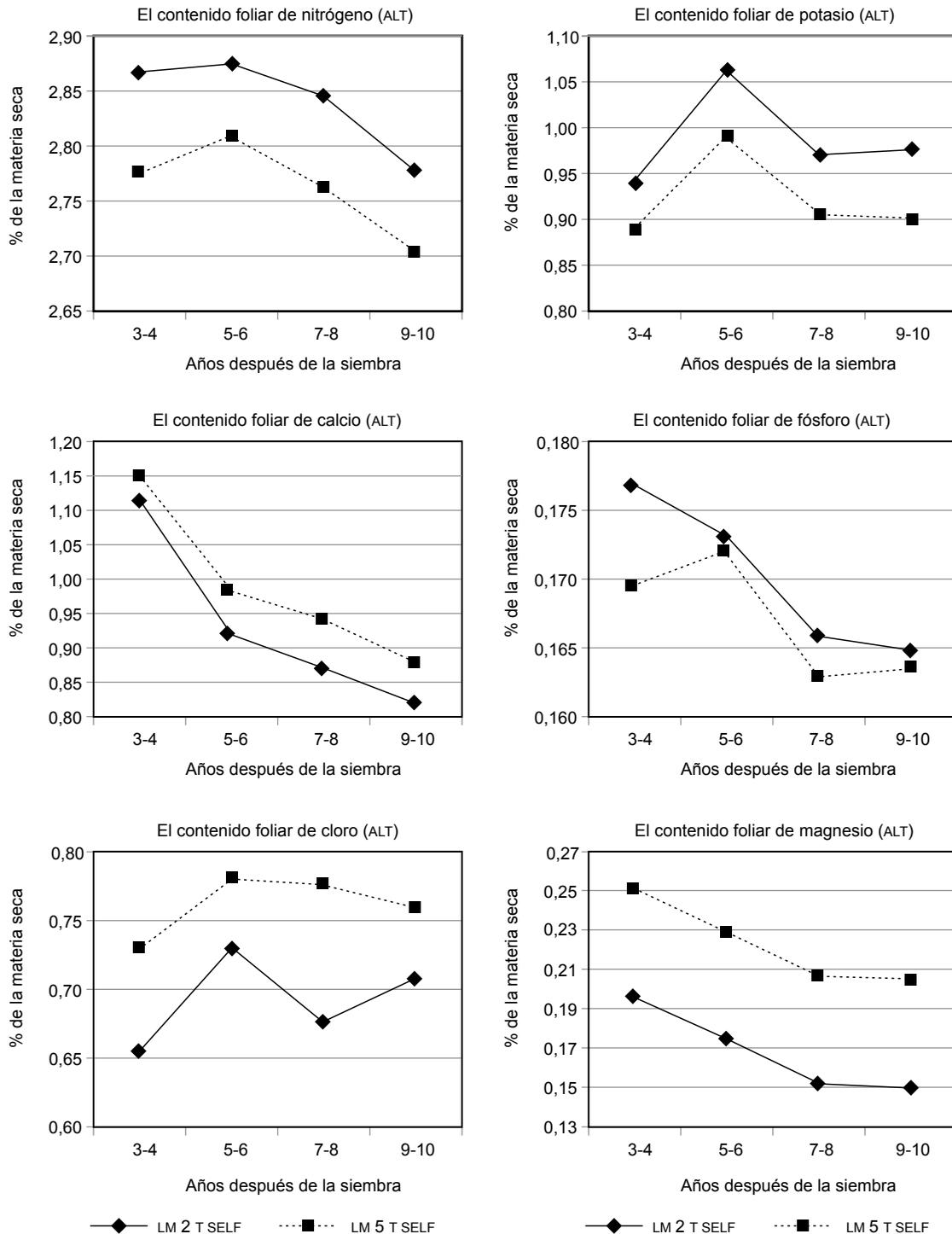
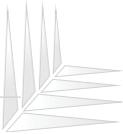


Figura 4. Comparación de los contenidos foliares de N, P, K, Ca, Mg y Cl del Año 3 al Año 10 entre los orígenes LM2T y LM5T (Bloque Genético Aek Loba Timur)

LM2T a alrededor de 1,4% en el raquis y 1% para los foliolos (Figura 2). Ir más allá de estos valores es probablemente consumo de lujo, ya

que el aumento de K en el raquis y los foliolos no viene seguido por un aumento significativo en la producción.

Tabla 12. Variabilidad representada en el eje F-1 y correlación entre las clases de edad.

Elementos	N F1	P F1	K F1	Ca F1	Mg F1	Cl F1
Valores Eigen	3,18	2,78	3,45	3,02	3,48	2,88
Variabilidad (%)	80,0	69,0	86,0	76,0	87,0	72,0
val 3 - 4 años	0,84	0,85	0,90	0,90	0,88	0,64
val 5 - 6 años	0,91	0,85	0,93	0,86	0,97	0,86
val 7 - 8 años	0,91	0,79	0,97	0,96	0,94	0,97
val 9 - 10 años	0,90	0,84	0,93	0,74	0,94	0,89

¿Qué preguntas científicas plantean estos resultados?

A partir de estos hallazgos surgió un gran interrogante: ¿por qué existen diferencias de niveles para los distintos elementos medidos (N, P, K, Ca, Cl) entre foliar y raquis y para los distintos materiales genéticos? Hasta ahora, ninguna hipótesis funcional puede explicar estas diferencias observadas.

No obstante, los resultados de las variables de crecimiento y producción en el ensayo agronómico alimentan este cuestionamiento. En la etapa inicial, el material procedente de la familia parental relacionada con LM2T, parece tener a edad temprana un crecimiento vegetativo significativamente diferente en comparación con las progenies relacionadas con LM5T. La velocidad de emisión de hojas a edad muy temprana es más alta, pero las hojas son más cortas para la progenie relacionada con LM2T. Asimismo, el número de racimos en la etapa adulta (> 6 años de edad) resulta más alto pero el peso del racimo menor con LM2T en comparación con LM5T. Visualmente, los árboles de cruces con LM2T se presentan más pequeños que los de cruces con LM5T. Así pues, estas diferencias en la morfología y el patrón reproductivo sugieren diferencias en la biomasa entre los diferentes orígenes. Entonces, ¿existen diferencias en la distribución y asignación de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg) en los diferentes órganos de la planta?, ¿lleva esto a diferencias en el metabolismo?, ¿difieren la

dinámica y el flujo de nutrientes en los diferentes compartimentos de la planta?

Esas son las preguntas de investigación que se tratarán de responder con un nuevo proyecto más enfocado en los aspectos ecofisiológicos.

El objetivo de este proyecto será entender la asignación de N y K en todos los órganos vegetativos y reproductivos (folíolos, pecíolo, raquis, estípites, raíces, frutos, Inflorescencias, raquis de los racimos) de las dos progenies que presentan los contenidos minerales más contrastados en el raquis y en las hojas (progenies A y B de ALCP10). La biomasa y el contenido de nutrientes de las dos progenies sometidas a tres niveles de fertilizante potásico se medirán. Los contenidos de nutrientes también se relacionarán con azúcares solubles y contenidos de almidón en los diferentes órganos. La utilización de isótopos estables (^{15}N , ^{41}K , ^{85}Rb) como marcadores naturales complementará el método de análisis más convencional para las mediciones de la asignación de N y K. Este proyecto comenzó hace más de un año y los primeros resultados están en proceso de validación.

Los siguientes pasos

Los resultados del experimento ALCP10 permite centrarse en las diferencias observadas en el linaje paterno de LM2T o LM5t, como Duras utilizados para cruzamientos derivados del mismo origen DA 5 D x DA 3 D. Si bien muchos caracteres parecen ser comunes a



ambas progenies C y D que tienen el mismo padre, estas difieren en su producción, la cual es significativamente menor para la progenie C. Se puede especular que el progenitor Dura utilizado para este cruce asume la responsabilidad de este carácter.

Como puede apreciarse en las tablas 10 y 11, que muestran los contenidos foliares ajustados por origen para dos grupos, A (principalmente Deli) y B (principalmente La Mé y Yangambi), los orígenes de estas progenies utilizadas en el ensayo ALCP10 no son las que presentan las concentraciones foliares más contrastadas.

Eso lleva a desarrollar una nueva red experimental donde se han escogido los orígenes preseleccionados que tienen un alto potencial agronómico similar, pero que difieren mucho por sus niveles foliares de K y N. El programa de cruzamientos tenderá a mejorar la diferencia en el carácter contenido foliar para ambos progenitores. Este incluye del grupo A, los orígenes BB 206 D SELF y BB 126 D x BB 150 D cuya firmas minerales foliares son K+ y N- por un lado, y DA 115 D SELF y DA 115 D x DA 3 D, cuyas firmas son K- and N+ por otro. Del grupo B, se han seleccionado LM2T SELF II (origen La Mé) y LM 718 T (origen Yangambi) para ser cruzados con los Duras K+ N-; se han seleccionado LM5T, LM5T x LM311P K+ N- para ser cruzados con los Duras K- N+.

Este estudio se centrará en la nutrición nitrogenada y potásica ya que su peso en la fertilización comercial es alto. Los resultados de estos experimentos nutricionales deberían permitirnos conocer los niveles críticos para los materiales contrastados en N y K y determinar si la fertilización se debe adaptar a los diferentes tipos de materiales.

Conclusiones

Los fertilizantes constituyen un importante insumo para la producción exitosa de aceite de palma. Las actuales prácticas que con frecuencia utilizan los mismos niveles críticos para establecer las tablas de fertilización para

los bloques comerciales con varias categorías que presentan niveles contrastados de nutrientes en el mismo ambiente agroecológico, probablemente llevó a aplicar cantidades excesivas o insuficientes de fertilizantes.

Debido a que los fertilizantes representan el 70% de los costos de operación, se considera importante tener en cuenta la especificidad del material de siembra en la relación fertilización/absorción/producción y fijar los niveles críticos que son más específicos para el material de siembra utilizado.

El conocimiento de la dinámica interna de los flujos de nutrientes también proporcionará un gran avance hacia un ajuste más preciso para la absorción de nutrientes y mejor adaptado al material de siembra.

Corley y Tinker (2003) expresaron el siguiente deseo: “se necesitan curvas de respuesta de rendimiento completas y precisas para genotipos diferentes”. El gran número de genotipos utilizado en el mejoramiento genético hace que este ejercicio sea difícil, pero es un campo de la investigación que es necesario explorar.

La nueva red experimental en fase de desarrollo nos permitirá saber si es necesario adaptar la fertilización según los genotipos y determinar los niveles críticos específicos para un mejor ajuste. También puede ayudar a saber si existen diferencias en la eficiencia de recuperación de los fertilizantes entre los materiales y si podemos identificar el material que utiliza menos aplicaciones o que se adapta más a la fertilidad inherente del suelo.

Agradecimientos

El trabajo descrito se llevó a cabo a través de un convenio de colaboración científica entre el Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (Cirad) y PT Socfin Indonesia (Socfindo). Los autores desean agradecer a la gerencia del Cirad y Socfindo por su permiso para publicar estos resultados. Un agradecimiento especial a Nicolas Turnbull, por su ayuda en la corrección de este artículo.



Bibliografía

- Caliman, J. P.; Daniel, C.; Tailliez, B. 1994. Oil palm mineral nutrition. *Plantations, Recherche, Développement*, 3: 36-54.
- Corley, R. H. V.; Tinker, P. B. 2003. *The Oil Palm* (cuarta edición). Londres: Blackwell Science Editor. 562 p.
- Dubos, B.; Caliman, J. P.; Corrado, F.; Quencez, P.; Suyanto, S.; Tailliez, B. 1999. Importance of magnesium nutrition in oil palm. *Plantations, Recherche, Développement*, 1 (3): 313-324.
- Dubos, B.; Alarcon, W. H.; Lopez, J. E.; Ollivier, J. 2010. Potassium uptake and storage in oil palm organs: the role of chlorine in The Influence of Soil Characteristics En: *Nutr. Cycl. Agroecosyst. The Magdalena Valley* (Colombia).
- Foster, H. L.; Prabowo, N. E. 2002. Overcoming the limitations of Foliar Diagnosis in Oil Palm. *International Oil Palm Conference, Nusa Dua, Bali*, julio 8-12.
- Jacquemard, J. C. ; Tailliez, B. ; Dadang, K. ; Ouvrier, M. ; Asmady, H. 2002. Oil Palm (*Elaeis Guineensis* Jacq.) Nutrition: Planting Material Effect. *International Oil Palm Conference, Nusa Dua (Bali)*, julio 8-12.
- Jacquemard, J. C. ; Ollivier, J. ; Surya, E. ; Suryana, E. ; Permadi, P. 2009. Genetic signature in mineral nutrition in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.): A new panorama for high yielding materials at low fertiliser cost - [37] p., mpob *International Palm Oil Congress (Pipoc 2009)*, Kuala Lumpur, 9-12 noviembre. mpob.
- Ollagnier, M. ; Ochs, R. 1971. Le chlore, nouvel élément essentiel dans la nutrition du palmier à huile. *Oléagineux*, 26: 1-15.
- Tan, G.; Rajaratnam, J. A. 1978. Genetic Variability of Leaf Nutrient concentration in Oil Palm. *Crop Science*, 18, Julio-agosto.
- Webb, M. J. 2008. A conceptual framework for determining economically optimal fertiliser use in oil palm plantations with factorial fertiliser trials. *Nutr Cycl Agroecosyst* (2009), 83: 163-178.