

VALIDACION DE NIVELES CRITICOS DE Mg EN EL SUELO Y FOLLAJE DE PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis*) A PARTIR DE INFORMACION EXPERIMENTAL Y COMERCIAL: ESTUDIO DE CASO EN COSTA RICA

Floria Ramírez¹

RESUMEN

Se recopiló información experimental y comercial generada en los últimos 10 años por la Compañía Palma Tica S.A. en el Pacífico Central y Sur de Costa Rica con el objetivo de estimar niveles críticos (NC) locales para la concentración de Mg en el follaje de palma aceitera y en el suelo. Se depuró la información recopilada y se generaron sendas bases de datos. Se redondearon las variables de productividad (grupo productivo) y concentración de nutrimentos, para permitir el manejo de la información por medio de tablas dinámicas y gráficos de Excel. Con base en estos gráficos y el método de Cate y Nelson, se obtuvo una primera aproximación para el NC-Mg foliar (0.20%) y se identificó que el cociente Mg/CT (Cationes Totales) > 0.25 se asocia con rendimientos menores a 25 t RFF/ha.

Aplicando el método gráfico de Cate y Nelson a los límites de confianza de los promedios ajustados de Mg por grupo productivo, se identificó un ámbito general de concentración de Mg (0.21-0.25%), que fue menor al ámbito reportado por la literatura (0.25-0.40%). Con el procedimiento estadístico GLM, se generó un modelo ($R^2=0.86$) que permitió estimar el NC-Mg foliar, para diferentes combinaciones de suelos, material vegetativo y CT. El suelo con menos problemas de drenaje (Andisol) se asoció con mayores valores de CT en el follaje, y un NC variable de Mg más alto (0.27%); mientras, los Inceptisoles compartieron un NC promedio de 0.20%. El material De x Ek presentó un NC variable menor (0.19%) que el material De/Tan x Ek (0.25%).

Se encontró una relación positiva entre la concentración de Mg en el suelo y la concentración foliar del mismo. En los Andisoles se identificó un NC de suelo de 3 cmol+/l. En los Inceptisoles, se identificaron ámbitos óptimos de concentración relativa de Mg en el suelo: %SAT-Mg en el suelo: 15-25, Ca/Mg: 4,0-5.5, y Mg/K: 6-12.

INTRODUCCION

En Costa Rica, el cultivo de palma aceitera se inició como cultivo sustituto del banano en el Pacífico Central en la década de 1940, dentro de las actividades de la United Brands Company (Richardson, 1995). Actualmente el cultivo abarca más de 47 000, principalmente en el Pacífico Sur y Central (Escobar y Peralta, 2006). A pesar de contar con más 60 años de presencia en el país y un programa privado de investigación continua, a la fecha no se han generado niveles críticos (NC) para la concentración de nutrimentos en el follaje y el suelo, para las condiciones y los materiales cultivados en Costa Rica.

Existen NC para la concentración de elementos en el follaje y el suelo para palma aceitera (Fairhurst y Härdter, 2003) los cuales han sido determinados bajo las condiciones de Malasia e Indonesia. Los NC que ofrece la literatura usualmente son generales y se omiten los detalles de las condiciones para los que fueron definidos, razón por la cual en la práctica agronómica es frecuente la calibración de los NC para las variedades y condiciones de sitio particulares (Arias y colaboradores, 2003).

El Mg se puede considerar un elemento secundario en la nutrición de la palma aceitera en términos de consumo (36 kg/ha/año para una productividad de 25 t RFF/ha; Ng y Thamboo, 1967 y Ng y colaboradores 1968). No obstante, la frecuencia con que se presentan síntomas de deficiencia y la

¹ Unidad de Investigación de Palma Tica, Coto, Costa Rica. Correo electrónico: framirez@numar.net

incertidumbre de su impacto sobre la productividad (Dubos y colaboradores, 1999) refuerza la necesidad de afinar su NC foliar y de suelo. Inceptisoles del Pacífico Central y Sur presentan una disponibilidad de Mg muy superior al mínimo de 0.25 cmol+/l, requerido de acuerdo con la literatura (Paramanathan, 2003). Sin embargo, especialmente en el Pacífico Sur, es poco frecuente que la palma aceitera alcance el ámbito óptimo foliar de Mg de 0.25-0.40% (Goh y Härdter, 2003) y es normal encontrar síntomas de deficiencia de Mg. Dubos y colaboradores (1999), mencionan que cuando la concentración foliar promedio de Mg se encuentra entre 0,20 y 0,24% empiezan a aparecer síntomas aislados de deficiencia de Mg; mientras que las deficiencias marcadas se expresan cuando la concentración es menor a 0,18%.

El objetivo de este trabajo fue generar niveles críticos de Mg a partir de información local, para diferentes materiales de palma aceitera y tipos de suelo en el Pacífico Central y Sur de Costa Rica.

MATERIALES Y METODOS

La identificación del NC para Mg en el follaje y suelo para palma aceitera forma parte de un trabajo más extenso en el que se exploró también el NC de N, P, K, S y B en el follaje y el NC de suelo para P y K. A continuación se describe la metodología utilizada para identificar los NC de los elementos.

Se utilizaron datos experimentales de nueve ensayos de fertilización establecidos entre 1995 y el año 2003, en las Divisiones de Coto y Quepos de la Cía. Palma Tica S.A, ubicadas, respectivamente en el Pacífico Sur y Central de Costa Rica. La información se complementó con datos de lotes comerciales de las zonas donde se ubicaron los experimentos (1997-2007).

Tanto los lotes comerciales como las unidades experimentales contaban con rendimiento en términos de toneladas de racimos de fruta fresca (t RFF/ha o por sus siglas en inglés t FFB²/ha) y análisis químicos anuales de muestras foliares y de suelo. Los muestreos foliares se realizaron durante la época seca (febrero-inicios de abril) y se analizaron 4-8 foliolos centrales de la hoja 17 en la filotaxia de la palma. Se determinó la concentración total de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Mn, Cu y Zn en las muestras de foliolos. Utilizando el extractante Mehlich III se determinó la concentración de Ca, Mg, K, P, Zn, Fe, Mn y Cu en muestras de suelo tomadas de la entrelínea de las palmas, a una profundidad de 0-20 cm durante la época lluviosa (setiembre-octubre).

Además del rendimiento y los análisis químicos, se complementó con información de suelo (clase), precipitación media anual, material vegetativo y datos calculados a partir de los análisis foliares como los cationes totales (CT). Foster y colaboradores (1988) introdujeron el uso de los CT como un punto de referencia interno de varios nutrientes en la hoja de palma. La relación K/CT es una herramienta de diagnóstico del estatus nutricional de K en palma aceitera (Foster, 2003). Los CT se expresan en centimoles/kg y se calculan a partir de los análisis químicos foliares con la siguiente fórmula:

Cationes totales (cmol/kg): $[\%K/(39,1/1)^3 + \%Mg/(24,3/2) + \%Ca/(40,1/2)] \times 1000$

El orden de suelo dominante en las áreas experimentales y las plantaciones en general es el Inceptisol, una fracción de la división Coto tiene suelos del Orden Andisol. Las clases de suelo dominantes Aeric Tropaquept, Fluventic Eutropept y Fluvaquentic Eutropept (Núñez, 1989; Durán, 1992), corresponden a suelos que sufren de condiciones de exceso de humedad, que se procura manejar por medio de drenajes. Otra característica importante es que la mayoría de los Inceptisoles tienen una alta saturación de bases.

² FFB: Fresh Fruit Bunches

³ Divisor corresponde al peso molecular/valencia

Los materiales vegetativos utilizados fueron Deli x AVROS (De x AV), Deli x Ekona (De x Ek), Deli x Ghana (De x Gha) y Deli/Tanzania x Ekona (De/Tan x Ek).

Se conformaron dos bases de datos (comerciales y experimentales), y se seleccionaron los registros que cumplieron con las siguientes características: edades comprendidas entre los 5 y 15 años (etapa más productiva y estable en el ciclo productivo); registros con rendimiento mayor que 6 t RFF/ha (rendimientos inferiores corresponden a condiciones extremas); análisis químicos de la hoja 17; registros pertenecientes a unidades de manejo definidas (no se utilizaron unidades que combinaran edades, materiales o clases de suelo) y resultados de análisis químicos dentro de ± 4 desviaciones estándar de la población recopilada.

Esta selección resultó en 1678 registros de experimentos, donde 1127 contaban con datos de análisis foliar y de éstos 691 tenían también análisis de suelo; los 551 registros restantes solo tenían información de análisis químico de suelo. La base de datos comercial contó con 1888 registros, de los cuales 972 correspondían a análisis de foliares y 916 a análisis químicos de suelo; comercialmente no se toman muestras de suelo y foliar en la misma época del año.

Se asociaron los resultados de los análisis de suelo y foliar con la producción acumulada en los últimos 12 meses (t RFF/ha) para el mes correspondiente a un período de 6 meses después de haberse tomado la muestra. El objetivo fue que los análisis químicos se ubicaran a mitad del año productivo. Con el fin de reducir la variabilidad se redondearon las variables de respuesta: productividad y la concentración de nutrimentos en el follaje y el suelo. El factor de redondeo de la productividad fue de 2 t RFF/ha con base en referencias de literatura (Foster, 2003). El factor de redondeo de la concentración de elementos fue el mínimo porcentaje de variación de la determinación en laboratorios (Corrales et al., 2005) aplicado al nivel crítico. Por ejemplo: NC-Mg: 0,23%, %CV_{min} de laboratorios: 5%, factor de redondeo= 0,23% x 5% = 0,01%. Tanto para la productividad como para la concentración de nutrimentos, los valores fueron redondeados al múltiplo más cercano del factor correspondiente. Las variables redondeadas permitieron explorar los datos y visualizar las tendencias de respuesta por medio de gráficos elaborados a partir de tablas dinámicas en Excel.

Se utilizó el método de Cate y Nelson (1971) para la identificación manual del NC, utilizando el valor de 25 t RFF/ha como la productividad crítica. También se estimó el NC por medio de un modelo matemático (GLM), y en este caso se utilizó una productividad de 30 t RFF/ha como rendimiento meta. Se llevaron dos procesos de análisis paralelos, uno con los datos experimentales y otro con los datos comerciales; finalmente se comparó el producto de ambos procesos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Nivel crítico de Mg en la hoja 17

La concentración foliar de Mg, tanto de datos comerciales como experimentales, abarcó concentraciones desde suficiencia hasta probable exceso; el ámbito de concentraciones estuvo entre 0,10% y 0,40%. Cuando se calculó el %Mg promedio para el rendimiento redondeado o grupo productivo (GP), los datos se concentraron en un ámbito entre 0,20 y 0,30%, sin asocio consistente entre éste y la productividad; esto puede deberse a que de acuerdo con Goh y Härdter (2003), el ámbito de suficiencia de Mg se encuentra entre 0,25 y 0,30% (Figura 1).

El redondeo por concentraciones, presentó una productividad promedio de 25 t RFF/ha para prácticamente todo el ámbito de concentraciones de Mg de los datos de experimentos; mientras que los datos comerciales presentaron una relación negativa entre la productividad y la concentración foliar de Mg; donde altas concentraciones de Mg foliar se asocian con menores productividades (Figura 1). El análisis individual de dos de los nueve experimentos considerados, identificó el NC para Mg alrededor de 0,20%. Dubos y colaboradores (1999) concluyeron que una concentración foliar

de Mg superior a 0,20% no garantiza un mayor rendimiento, por lo que es razonable tener este valor como crítico.

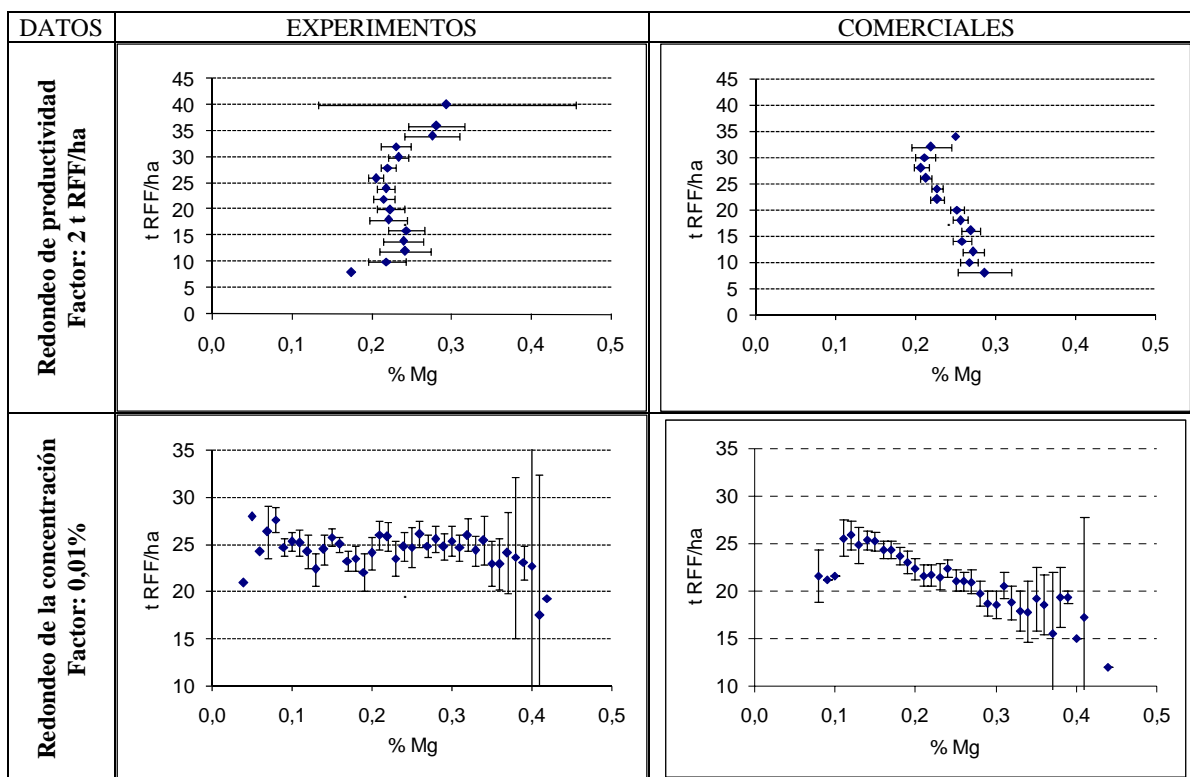


Figura 1. Distribución de valores de productividad para diferentes concentraciones de Mg (%) en la hoja 17 de palmas entre los 5 y 15 años. Dispersiones para datos redondeados por concentración o por grupo productivo. Intervalo de confianza para $\alpha = 0,05$.

Cuando se graficó la relación entre GP y el %Mg redondeado, se encontró que en una cantidad importante de los datos de experimentos, aumentó la productividad conforme aumentó la concentración de Mg; mientras que en los datos comerciales, dominó el comportamiento contrario, a mayor concentración de Mg, menor productividad (Figura 2). Para comprender estas respuestas se recurrió a los diferentes factores considerados en las bases de datos recopiladas. Por medio de un ANDEVA se encontró que la concentración foliar de Mg, en los datos experimentales, se ve afectada por los factores suelo, material, edad, CT y precipitación anual; mientras que para los datos comerciales solo el suelo, material y CT fueron significativos.

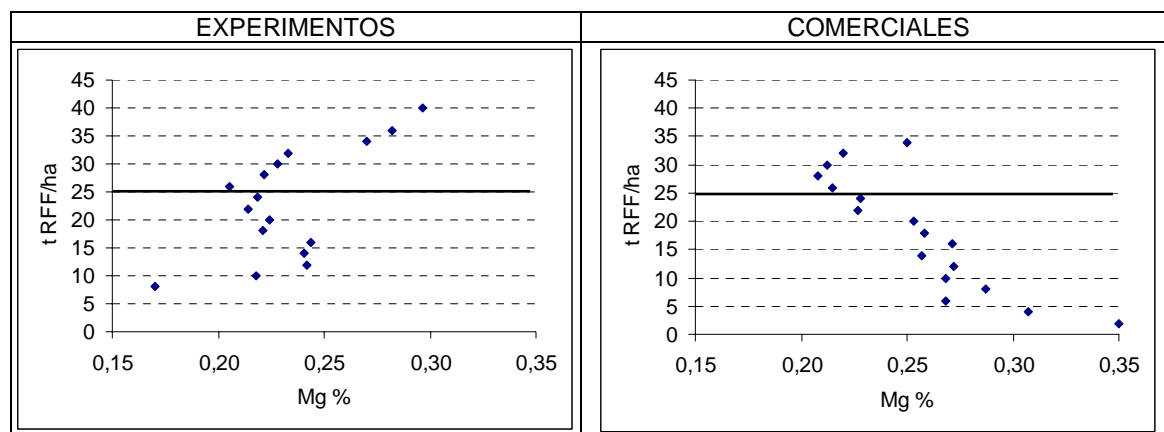


Figura 2. Relación entre los grupos de productividad y la concentración redondeada Mg en la hoja 17, para datos provenientes de áreas experimentales y comerciales. Palmas entre 5 y 15 años.

La riqueza natural de Mg en los suelos es bastante diferente entre Divisiones; en Quepos (Pacífico Central), la disponibilidad de Mg es de 7,5 cmol+/l, mientras que en Coto (Pacífico Sur) esta es de 5 cmol+/l; en términos relativos, el Mg ocupa un 30% de la CICE en Quepos y un 15% en Coto. La inclusión del porcentaje de saturación de Mg en el suelo (% SAT-Mg) como un factor más de variación es importante, ya que un mayor % SAT-Mg, en el suelo se asoció con una mayor concentración foliar del mismo elemento (Figura 3). De acuerdo con el % SAT-Mg del suelo es esperable que en Quepos haya una mayor concentración de Mg foliar que en Coto.

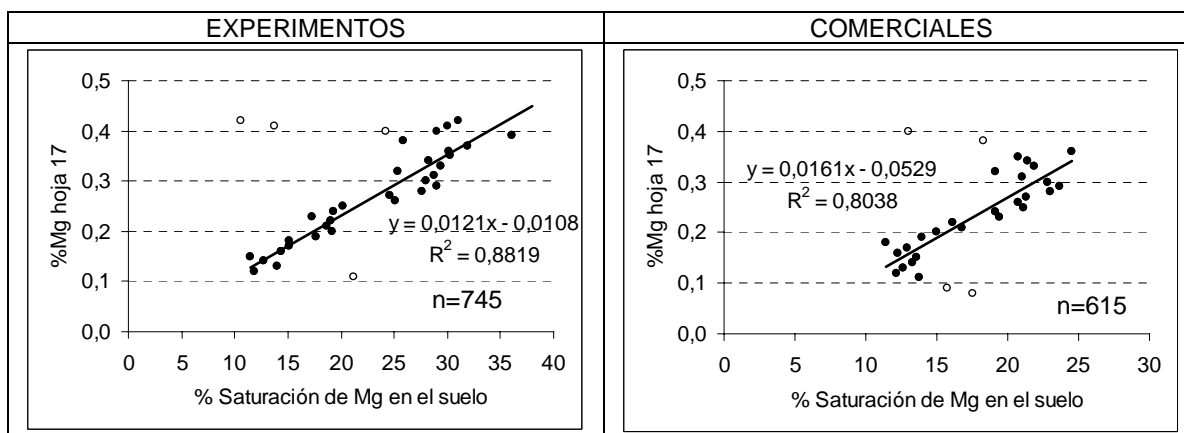


Figura 3. Relación entre el porcentaje de saturación de Mg del suelo y la concentración foliar de Mg en la hoja 17. Se excluyeron datos que se presentan como círculos vacíos; representan el 1% de los datos totales.

Se incluyó el % SAT-Mg como una covariable más en el ANDEVA, y se encontró diferencias en concentración foliar de Mg tanto entre materiales como entre clases de suelo. Sin embargo, al aplicar el método de Cate y Nelson a los subconjuntos de datos (material o clase de suelo), no fue posible identificar un NC para cada condición. Tanto los datos comerciales como los de experimentos tendieron a presentar productividades menores conforme aumentó la concentración foliar de Mg, especialmente en los Fluvaquentic Eutropepts y Andisoles. Al igual que el K, el Mg se puede expresar como una razón con respecto a los CT y debido a la correlación entre el K/CT y la productividad (Foster, 2003), se procedió a explorar la relación entre Mg/CT y la productividad. Efectivamente, entre mayor es el valor de la razón Mg/CT, menor fue la productividad; y cuando se establece el NC para el

80% del valor máximo graficado, razones Mg/CT superiores a 0,25 se asocian con una menor productividad para los datos comerciales (Figura 4). Pese a esta clara regresión lineal no se puede esperar que productividades de 30 t RFF/ha se logren con Mg/CT muy cercanos a 0. En este sentido el punto con Mg/CT más bajo (0,12) puede indicar el límite inferior para un ámbito óptimo de Mg/CT.

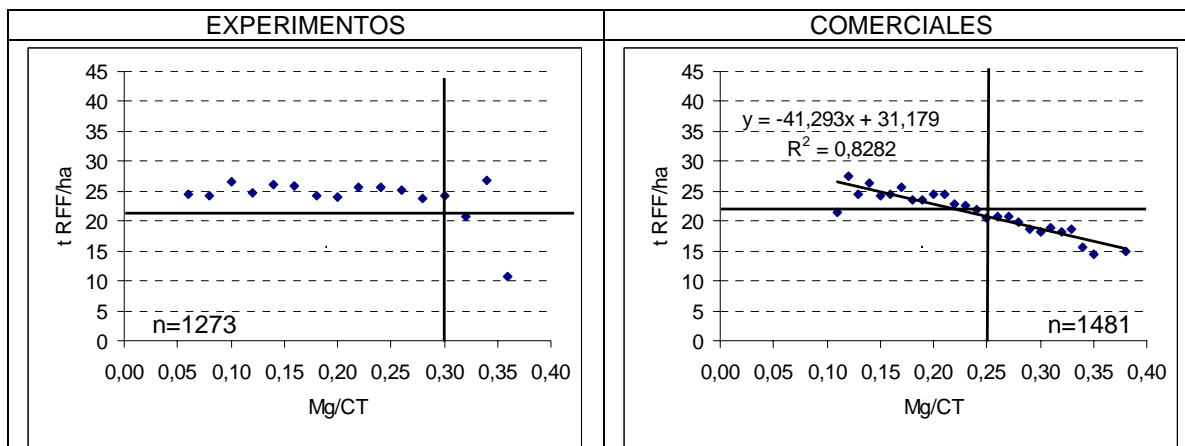


Figura 4. Relación entre la productividad y la razón Mg/CT de la hoja 17, para datos provenientes de bases de datos de experimentos y comerciales. NC estimado para un 80% del rendimiento máximo graficado.

Los análisis anteriores muestran que los datos de Mg de la base de experimentos fueron afectados por numerosos factores, sin embargo su capacidad para esclarecer un NC para el Mg no es muy fuerte. Aún cuando en 4 de 9 experimentos este elemento fue sujeto de tratamientos, es probable que la alta disponibilidad natural del elemento y la presencia de otros elementos (N, K) en condiciones más limitantes opacaran la respuesta que como conjunto ofrece esta base de datos. Se calculó el coeficiente de correlación (R) entre los GP y la concentración promedio de N (0.81), P (0.72), K (0.90) y Mg (0.56); y se encontró que el Mg presentó el menor R, el cual se puede utilizar como un indicador del grado de participación sobre la productividad. Por lo tanto, utilizando la base de datos comercial se calcularon y graficaron los promedios ajustados y límites de confianza para la concentración de Mg por GP; éstos datos son parte de los resultados del ANDEVA. Se aplicó el método de Cate y Nelson a los límites de confianza y se estimó que el ámbito de concentración óptima de Mg para todos los materiales y clases de suelo es de 0,21-0,25% (Figura 5), valores más altos se asocian con un rendimiento inferior a 25 t RFF/ha.

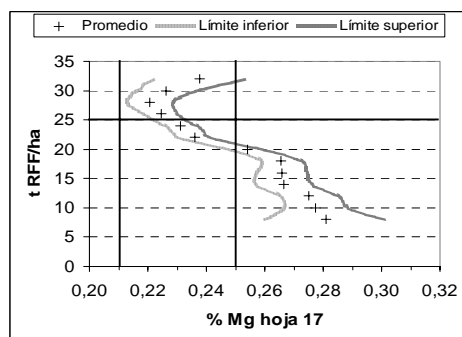


Figura 5. Curva de respuesta de productividad vs concentración de Mg (%) en la hoja 17, generada con base en promedios ajustados de datos comerciales.

Los experimentos individuales permitieron identificar un NC en 0,20%, mientras que la información en conjunto, especialmente comercial, permitió identificar un NC máximo de 0.25%, a partir del cual más bien se reduce el rendimiento. El ámbito de suficiencia identificado para la concentración foliar de Mg (0.21-0.25%) es más estrecho y menor que la referencia de la literatura (0.25-0.40%; Goh y Härdter, 2003). La concentración de 0,25% de Mg corresponde al límite superior identificado y al límite inferior de referencia.

$\% \text{ Mg}_{30 \text{ t RFF/ha}} = -0,0239124 - 0,0143975*S(1) + 0,0519456*S(2) - 0,0125548*S(3) + 0,00801084*M(1) - 0,0260737*M(2) - 0,012234*M(3) + 0,00302949*CT$	
<p>Donde:</p> <p>S(1) = 1 si Clase suelo = Aerico Tropaept, -1 si Clase suelo = Fluventic Eutropept, 0 si otro suelo</p> <p>S(2) = 1 si Clase suelo = Andisol, -1 si Clase suelo = Fluventic Eutropept, 0 si otro suelo</p> <p>S(3) = 1 si Clase suelo = Fluvaquentic Eutropept -1 si Clase suelo = Fluventic Eutropept, 0 si otro suelo</p>	<p>M(1) = 1 si Material = De x AV, -1 si Material = De/Tan x Ek, 0 si otro material</p> <p>M(2) = 1 si Material = De x Ek, -1 si Material = De/Tan x Ek, 0 si otro material</p> <p>M(3) = 1 si Material=De x Gha -1 si Material=De/Tan x Ek, 0 si otro material</p> <p>CT= cationes totales (cmol+/l)</p>

Figura 6. Modelo para estimar la concentración de Mg (%) asociada a un rendimiento de 30 t RFF/ha, según el tipo de suelo, el material y los CT. Modelo con base en datos comerciales.

Finalmente, con base en los datos comerciales se procedió a generar un modelo para estimar la concentración foliar de Mg asociada al rendimiento meta de 30 t RFF/ha, cuando se consideran las tres principales fuentes de variación identificadas: clase de suelo, material y CT. El modelo obtuvo un R² ajustado de 0,86 lo que le confiere un carácter muy robusto (Figura 6). El modelo establece que se requiere de una mayor concentración foliar de Mg (%) entre más alto sea el valor para los CT (Figura 7). Así mismo, se estableció un NC variable según el suelo y el material:

- Andisol (0,27%) > Fluvaquentic Eutropept (0,20%) = Aerico Tropaept (0,20%) = Fluventic Eutropept (0,19%)
- De/Tan x Ek (0,25%) ≥ De x AV (0,23%) ≥ De x Gha (0,21%) ≥ De x Ek (0,19%).

El Andisol presentó valores más altos de CT que los Inceptisoles (Figura 7). A diferencia de los Andisoles, los Inceptisoles analizados presentan diferentes grados de mal drenaje que pueden asociarse con mayor frecuencia a condiciones de anaerobiosis, que reducen la eficiencia de absorción de nutrientes y por lo tanto la concentración de bases en el tejido (Peralta y colaboradores 1985). El material De/Tan x Ek destaca por presentar un NC similar al de referencia de la literatura (Farihurst y Härdter, 2003), mientras que De x Ek tiene un NC de suficiencia que con base en la literatura se podría considerar deficiente.

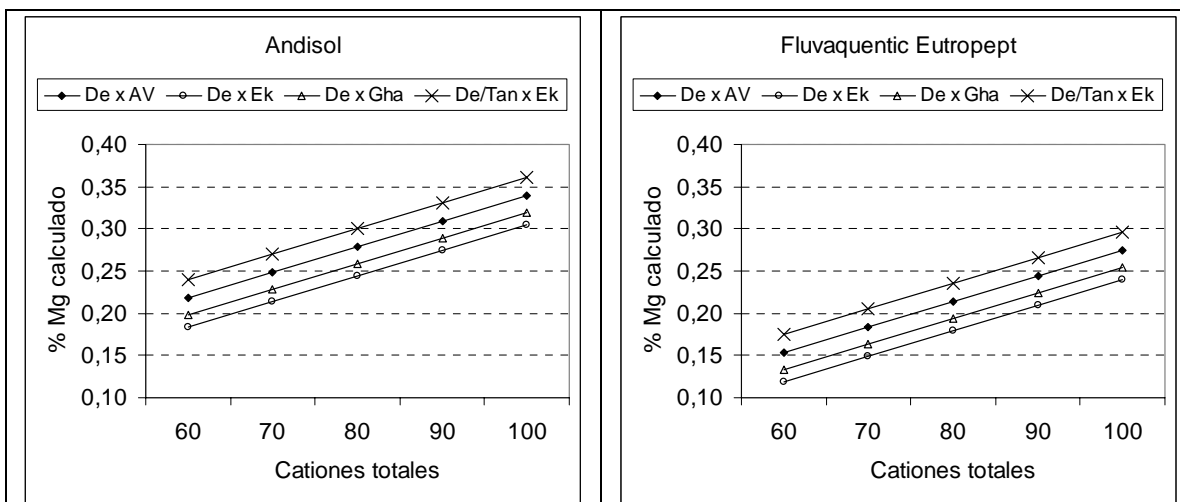


Figura 7. Concentración foliar de Mg asociada a una productividad de 30 t RFF/ha para diferentes estatus de CT, dos clases de suelo y cuatro materiales de palma aceitera.

Nivel crítico de Mg en el suelo

El Mg intercambiable en los suelos de las plantaciones de Palma Tica S.A., tanto en el Andisol como en los Inceptisoles se califica como muy alto con base al valor de referencia de 0,25 cmol+/l citado por Paramanathan (2003). No obstante, en el Andisol hay una respuesta productiva al Mg (Figura 8); y se puede identificar un NC de 3 cmol+/l necesario para obtener rendimientos superiores a 25 t RFF/ha. En la Figura 8 también se observa que para los Inceptisoles (O) una alta disponibilidad de Mg más bien deprime la productividad. En este caso, cuando la concentración de Mg en el suelo es mayor a 6,5 cmol+/l el rendimiento promedio es menor a 25 t RFF/ha.

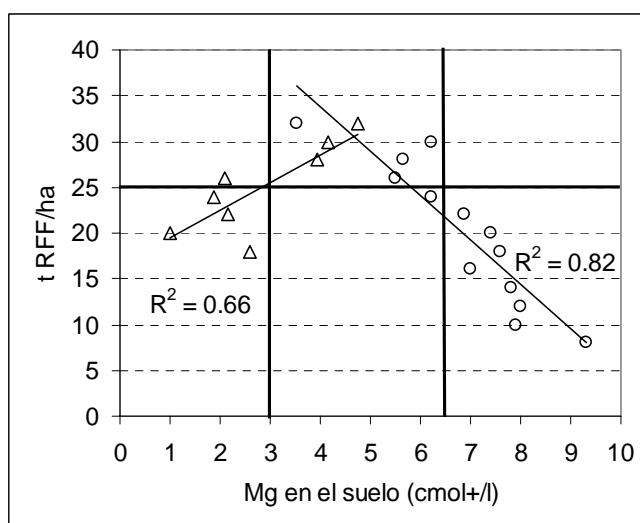


Figura 8. Relación entre la concentración de Mg en el suelo (cmol+/l) y la productividad (t RFF/ha) en un Andisol e Inceptisoles de las plantaciones de Palma Tica S.A. Δ =Andisoles; \circ =Inceptisoles.

La relación entre la concentración de Mg en el suelo y el Mg foliar es positiva. De acuerdo con el modelo generado (Figura 6), en los Inceptisoles una concentración de 0,20% de Mg foliar se asocia con el rendimiento meta de 30 t RFF/ha; en la Figura 9 esta concentración foliar se asocia con una disponibilidad de Mg en el suelo de aproximadamente 5,6 cmol+/l.

Otra expresión del estatus de Mg en la palma es Mg/CT; cuando éste es mayor a 0,25 es poco probable obtener rendimientos altos (Figura 4). La razón Mg/CT en la hoja 17 aumenta con el Mg (cmol+/l) del suelo, y valores superiores a 8 cmol+/l se asocian con Mg/CT>0,25 (Figura 9).

Se procedió a calcular los coeficientes de regresión entre las relaciones de Mg con las bases en el suelo y la productividad, la concentración foliar de Mg (%) y la relación Mg/CT (Tabla 1). En el Andisol, los R² que asocian las variables de suelo con la respuesta de la palma son bajos; la concentración foliar de Mg (%) se ve afectada por el %SAT-Mg y la razón Ca/Mg del suelo. Se observa que entre más alta es la relación Ca/Mg, más alta es la concentración foliar de Mg, sin embargo, si se excluyen los seis datos extremos que corresponden a un único registro cada uno, la relación deja de ser importante (Figura 10). Por el contrario, aún cuando se excluyeron los registros extremos, la relación negativa entre el %SAT-Mg y el %Mg foliar se mantiene y aumenta ligeramente el R². En el Andisol, un %SAT Mg superior a 20 se asocia con %Mg foliar inferiores al NC encontrado (0,27%).

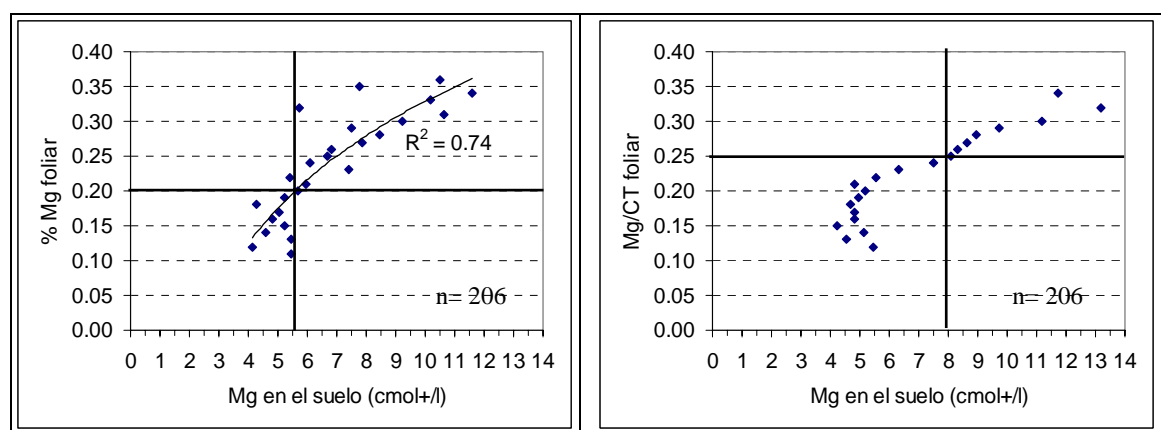


Figura 9. Relación entre la concentración de Mg (cmol+/l) en el suelo y el estatus de Mg en la hoja 17 (% Mg, Mg/CT) de palmas cultivadas en Inceptisoles. NC asociado a 0,20% Mg y 0.25 Mg/CT en la hoja 17.

Tabla 1. Coeficientes de regresión (R²) entre la concentración de Mg en el suelo, las relaciones de bases (%SAT-Mg, Ca/Mg, Mg/K) y la productividad (GP), la concentración de Mg foliar y la relación Mg/CT, para el Andisol e Inceptisoles de las plantaciones de Palma Tica.

Coeficientes de regresión R ²		SUELO				n
		Mg (cmol+/l)	% SAT-Mg	Ca/Mg	Mg/K	
ANDISOL	GP (t RFF/ha)	0,66	0,02	- 0,17	- 0,08	179
	% Mg foliar	- 0,25	- 0,44	0,50	- 0,10	110
	Mg/CT foliar	- 0,22	- 0,09	0,06	- 0,05	110
INCEPTISOL	GP (t RFF/ha)	- 0,82	- 0,80	0,78	- 0,74	706
	% Mg foliar	0,70	0,83	- 0,56	0,69	206
	Mg/CT foliar	0,84	0,89	- 0,64	0,89	206

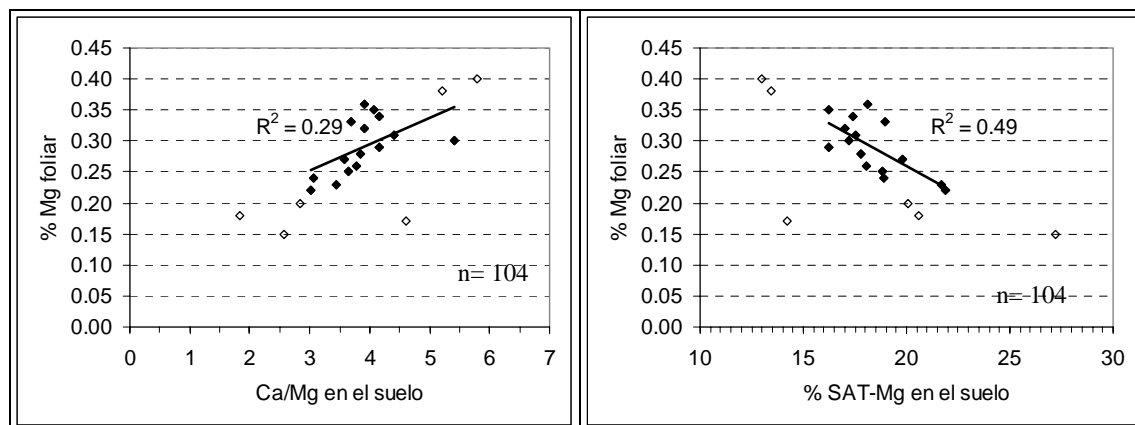


Figura 10. Relación entre la concentración foliar de Mg (%) y el %SAT-Mg y la relación Ca/Mg en un Andisol. O=datos excluidos del cálculo del R^2 .

Los Inceptisoles de las plantaciones estudiadas se caracterizan por una alta concentración de Mg, es por esto que cualquiera de las tres expresiones relativas del elemento repercute sobre la productividad y el estatus foliar del elemento (Tabla 1).

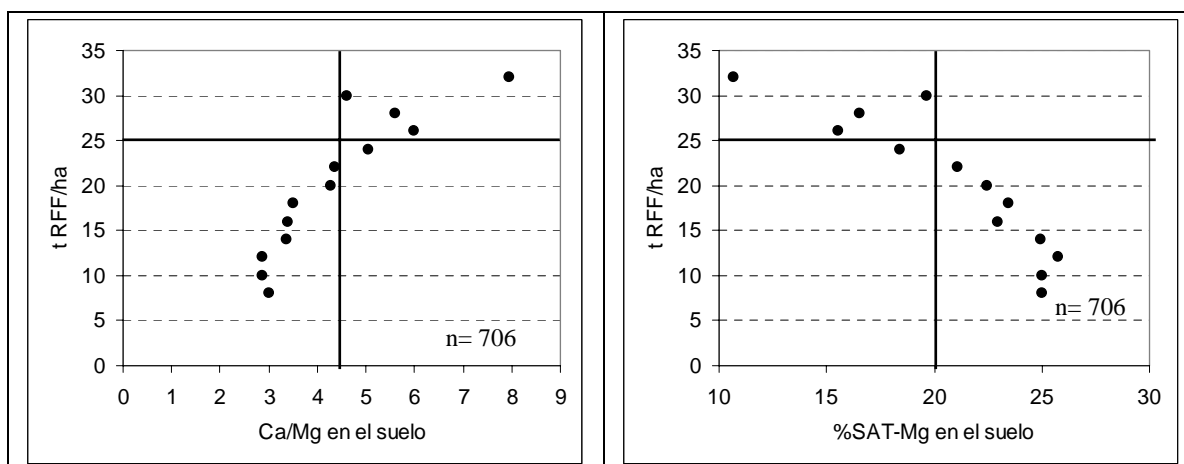


Figura 11. Relación entre la productividad (t RFF/ha) y el % SAT Mg y la relación Ca/Mg de Inceptisoles cultivados con palma.

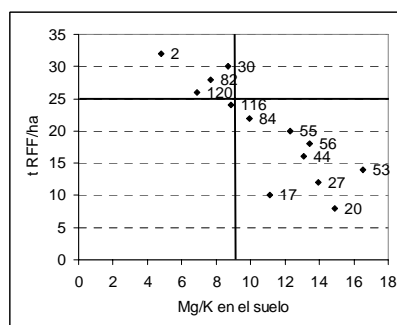


Figura 12. Relación entre los GP (t RFF/ha) y la relación Mg/K, para suelos Inceptisoles de las plantaciones de Palma Tica S.A.

El Mg en el suelo expresado como el %SAT Mg $>$ 20 o como la razón Ca/Mg $<$ 4,5 (Figura 11) y Mg/K $>$ 9 (**Error! Reference source not found.**) se asocia con rendimientos inferiores a 25 t RFF/ha. Tanto la concentración de Mg (%) como la razón Mg/CT aumentan conforme en el suelo aumenta la concentración de Mg (Figura 9), el %SAT-Mg y la relación Mg/K (Figura 13); la relación Ca/Mg del suelo tiene el efecto contrario. Al aplicar el ámbito óptimo de concentración foliar de Mg (0,20-0,25%) y el límite superior de Mg/CT en el follaje (0,25), se pueden identificar ámbitos óptimos de concentración relativa de Mg en el suelo de los Inceptisoles estudiados: %SAT-Mg en el suelo: 15-25, Ca/Mg: 4,0-5.5, y Mg/K: 6-12. Estos ámbitos contienen los valores identificados anteriormente en la Figura 11 y **Error! Reference source not found.**.



Figura 13. Relación entre las variables foliares, concentración de Mg (%) y razón Mg/CT, redondeadas y las relaciones de suelo Mg/K, Ca/Mg y % SAT Mg, en Inceptisoles.

CONCLUSIONES

- El ámbito de óptimo general encontrado para la concentración foliar de Mg fue 0.21- 0.25%; el cual fue diferente y menor al ámbito de referencia.
- El NC de Mg en la hoja 17 es variable en función del orden de suelo, el material vegetativo y los cationes totales (CT); entre más alto es el valor de CT, mayor es el NC de Mg foliar. El NC foliar de Mg es mayor en el suelo Andisol (0.27%) que en los Inceptisoles (0.20%).
- Cuando la relación foliar Mg/CT es mayor a 0,25 la productividad tiende a ser menor a 25 t RFF/ha. La relación Mg/CT es mayor a 0,25 cuando la concentración de Mg en el suelo es superior a 8 cmol+/l.
- La concentración foliar de Mg se encontró positivamente asociada a la concentración y saturación (%) de Mg en el suelo. En los Inceptisoles, el límite inferior del ámbito de suficiencia de Mg foliar (0.20%) se asoció con una concentración de Mg en el suelo de 5,6 cmol+/l.
- En los Inceptisoles, se identificaron ámbitos óptimos de concentración relativa de Mg en el suelo: %SAT-Mg en el suelo: 15-25, Ca/Mg: 4,0-5.5, y Mg/K: 6-12.

BIBLIOGRAFIA

- Arias, F., R. Segura, E. Serrano, F. Bertsch, A. Lopez, y E. Soto. 2003. Niveles críticos de calcio, magnesio, potasio y fósforo en suelos dedicados al cultivo de banano (*Musa AAA*) en Costa Rica. *CORBANA*, 29(56):69-81.
- Duran, N., G. Monge, y R. Ortiz. 1992. Descripción de perfiles modales y características físicas y químicas del estudio de suelos de la división Coto. Departamento de Agronomía, Programa de Investigación en Palma Aceitera. Coto 47, Costa Rica. Informe Interno.
- Cate, R.B. y L.A. Nelson. 1971. A Simple Statistical Procedure for Partitioning Soil Test Correlation Data Into Two Classes. *Soil Sci Soc Am J.* 35:658-660.
- Corrales, M., F. Bertsch, y J. Bejarano. 2005. Los laboratorios de análisis de suelos y foliares en Costa Rica: Informe del comité de laboratorios de análisis de suelos, plantas y aguas. *Agronomía Costarricense* 29(3):125-135.
- Dubos, B., J.P. Caliman, F. Corrado, P. Quencez, S. Suyanto, y B. Tailiez. 1999. Importance of magnesium nutrition in oil palm-Results of several years' experiments. Proceedings of the 1999 PORIM International Palm Oil Congress. Emerging technologies and opportunities in the next millennium. Agriculture Conference. PORIM, Kuala Lumpur, 1-6 February, 1999. pp 218-231.
- Escobar, R. y F. Peralta. 2006. The oil palm industry in Costa Rica-Country report. En: International Seminar on Yield Potential in The Oil Palm, The International Society for Oil Palm Breeders, Phuket, Thailand, 27-28 November 2006.
- Fairhurst, T. y R. Härdter. 2003. Oil Palm: Management for large and sustainable yields. Ed. T. Fairhurst, R. Härdter. Potash and Phosphate Institute, Potash and Phosphate Institute of Canada and International Potash Institute. 381 p.

- Foster, H. 2003. Assessment of oil palm fertilizer requirements. IN: Oil Palm: Management for large and sustainable yields. Ed. T. Fairhurst, R. Härdter. Potash and Phosphate Institute, Potash and Phosphate Institute of Canada and International Potash Institute. 381 p.
- Foster, H., A. Tarmizi Mohamad, y Z.Z. Zin. 1988. Foliar diagnosis of oil palm in Peninsular Malaysia. In: Proc. 1987 Int. Oil Palm Conf. Progress and Prospects. Ed. Halim Hassan et al. PORIM. Kuala Lumpur, Malaysia 1987. p 249-261.
- Goh, K. y R. Härdter. 2003. General oil palm nutrition. IN: Oil Palm: Management for large and sustainable yields. Ed. T. Fairhurst, R. Härdter. Potash and Phosphate Institute, Potash and Phosphate Institute of Canada and International Potash Institute. 381 p.
- Ng, S.K. y S. Thamboo. 1967. Nutrient contents of oil palms in Malaysia. 1. Nutrients required for reproduction: fruit bunches and male inflorescence. The Malaysian Agricultural Journal, 46(1):3-45.
- Ng, S.K., S. Thamboo, y P. De Souza. 1968. Nutrient contents of oil palms in Malaysia. II. Nutrients in vegetative tissues. The Malaysian Agricultural Journal, 46:332-391.
- Nuñez, J. 1989. Estudio de suelos en la Finca Palo Seco, División Quepos, CBCR. (Un enfoque de clasificación de tierras utilizando el sistema francés desarrollado por IRHO). San José, Costa Rica. Informe interno Palma Tica.
- Paramanathan, S. 2003. Land selection for Oil Palm. IN: Oil Palm: Management for large and sustainable yields. Ed. T. Fairhurst, R. Härdter. Potash and Phosphate Institute, Potash and Phosphate Institute of Canada and International Potash Institute. 381 p.
- Peralta, F., O. Vasquez, D.L. Richardson, A. Alvarado, y E. Bornemisza. 1985. Effect of some soil physical characteristics on yield, growth, and nutrition of the oil palm in Costa Rica. Oléagineux, 40(8-9):423-430.
- Richardson, D.L. 1995. La historia del mejoramiento genético de la palma aceitera en al compañía United Fruit en América. ASD Oil Palm Papers 11:1-22.