

# FERTILIZACIÓN QUÍMICA PARA EL CULTIVO DE PALMA DE ACEITE (*Elaeis guineensis* JACQ.) EN CHIAPAS, MÉXICO

## CHEMICAL FERTILIZATION FOR OIL PALM (*Elaeis guineensis* JACQ.) PLANTATIONS IN CHIAPAS, MEXICO

Córdova-Sánchez A.<sup>1</sup>, Obrador-Olán J.J.<sup>2</sup>, Salgado-García S.<sup>2</sup>, Castelán-Estrada M.<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Profesor de la Universidad Politécnica del Golfo de México, CP 86600 Paraíso, Tabasco, México. <sup>2</sup>Profesor del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Apdo. Postal 24, CP 86500 Cárdenas, Tabasco, México.

\*Autor por correspondencia: mcastelan@colpos.mx

### RESUMEN

Debido a que existe un conocimiento limitado sobre las necesidades nutrimentales del cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el norte de Chiapas, México, evaluó experimentalmente el efecto de diferentes tratamientos de fertilización NPK sobre el rendimiento y concentración foliar en una plantación comercial del híbrido *DelixAvros*, de ocho años de edad, establecida en Palenque, Chiapas. Mediante el Modelo San Cristóbal se generaron 12 tratamientos de fertilización, mismos que se probaron bajo un diseño de bloques completos al azar. Los niveles probados fueron N: 60, 90, 120, 150 kg ha<sup>-1</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 30, 60, 90, 120 kg ha<sup>-1</sup> y K<sub>2</sub>O: 120, 180, 240, 300 kg ha<sup>-1</sup>. Los efectos sobre el rendimiento de racimos de fruto fresco (RFF) y la concentración foliar de N, P y K se evaluaron durante cuatro ciclos. Los resultados mostraron que a nivel de parcela el rendimiento de RFF aumentó en el segundo año, pasando de 19.8 t ha<sup>-1</sup> a 40.8 t ha<sup>-1</sup>, mientras que en el tercer año se cuadruplicó, llegando hasta 77.8 t ha<sup>-1</sup> de RFF. Aunque no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos probados, se sugiere adoptar la dosis 60-90-120 NPK, ya que esta satisface la demanda del cultivo a bajo costo, se obtienen rendimientos de RFF elevados y se mantiene la fertilidad del suelo. La concentración foliar de N, P y K no mostró diferencias estadísticas entre tratamientos, pero se observaron aumentos en la concentración media a nivel de parcela, hasta alcanzar niveles óptimos.

**Palabras clave:** concentración foliar, nutrición, producción, rendimiento de fruto fresco (RFF).

### ABSTRACT

Because there is a limited knowledge about the nutrient needs of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) crop in northern Chiapas, México, the effect of different NPK fertilization treatments on yield and leaf concentration was evaluated in a commercial plantation of the *DelixAvros* hybrid, eight years old, established in Palenque, Chiapas. Through the San Cristóbal Model, 12 fertilization treatments were generated, which were tested under a completely random block design. The levels tested were N: 60, 90, 120, 150 kg ha<sup>-1</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 30, 60, 90, 120 kg ha<sup>-1</sup> and K<sub>2</sub>O: 120, 180, 240, 300 kg ha<sup>-1</sup>. The effects on the yields of fresh fruit clusters (FFC) and the leaf concentration of N, P and K, were evaluated for four cycles. The results showed that at the level of plot the FFC yield increased in the second year, going from 19.8 t ha<sup>-1</sup> to 40.8 t ha<sup>-1</sup>, while in the third year it quadrupled, reaching 77.8 t ha<sup>-1</sup> of FFC. Although no statistical differences were found between the treatments tested, it is suggested to adopt the 60-90-120 NPK dose, since it is the one that satisfies crop's demand at low cost, high FFC yields are obtained, and soil fertility is maintained. The leaf concentration of N, P and K did not show statistical differences between treatments, although increases were observed in the mean concentration at the level of plot, until reaching optimal levels.

**Keywords:** leaf concentration, nutrition, production, fresh fruit yield (FFC).

**Agroproductividad:** Vol. 10, Núm. 12, diciembre, 2017, pp. 56-63.

**Recibido:** junio, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) es la fuente más importante de aceite vegetal a nivel mundial debido, entre otras cualidades, a que es más rendidora que otras oleaginosas (Figura 1), pudiendo producir hasta 4 t ha<sup>-1</sup> de aceite por año (EPOA, 2017). Esta especie requiere suelos fértiles, con una profundidad de entre 80 cm a 120 cm, de textura franca y subsuelo arcilloso no pesado, con un aporte continuo de humedad. Los suelos con estas características, permiten un buen desarrollo del cultivo al abastecerlo adecuadamente de agua y facilitar la absorción de nutrientes (Comte *et al.*, 2012).

En México la primera plantación comercial fue establecida en Chiapas en 1952 (Santacruz *et al.*, 2012), pero a partir de 1997 se ha registrado un auge en este cultivo con nuevas plantaciones en Veracruz, Tabasco, Campeche y Chiapas, registrando actualmente una superficie plantada de 90,118 ha de palma de aceite (SIAP, 2017). El estado de Chiapas es el principal productor con 43,443 ha, de las cuales 34,815 se encuentran en plena producción, con rendimientos medios de 13.3 t ha<sup>-1</sup> de racimos de fruto fresco (RFF) (Cuadro 1).

Aun cuando existe una superficie importante plantada con palma de aceite en México no se han realizado su-

ficientes estudios para determinar las dosis óptimas de fertilización para las diferentes regiones productoras. Una fertilización adecuada resulta benéfica para nutrir correctamente al cultivo, mejorar los rendimientos de fruto fresco y favorecer la rentabilidad de las plantaciones comerciales. Estudios previos sobre fertilización indican que en la costa de Chiapas el rendimiento más alto de aceite (3.3 t ha<sup>-1</sup>) se obtuvo con la dosis 300-130-300 de N-P-K (Cruz y Ramírez, 1984), aunque bajo los criterios actuales esta resulta excesiva. Pérez-Peralta

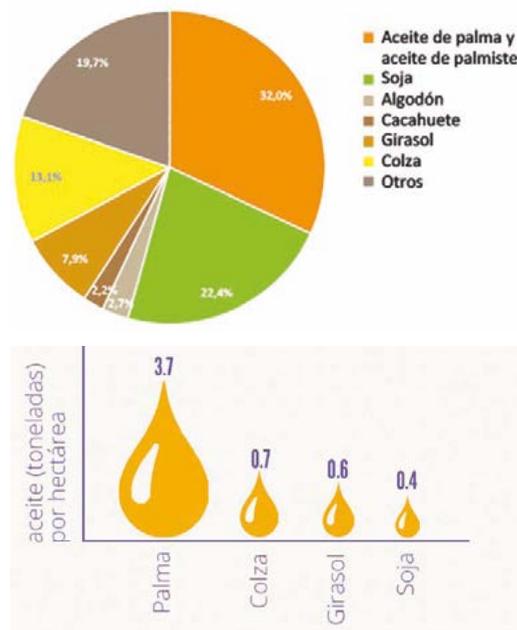
*et al.* (2005) evaluaron 12 tratamientos de fertilización N-P-K para palma de aceite cultivada en Tabasco, obteniendo rendimientos de 19.9 t ha<sup>-1</sup> de RFF, asociados a la dosis 60-90-240. Considerando lo anterior, se realizó el presente estudio en palma de aceite cultivada en el norte de Chiapas, evaluando el rendimiento de fruto fresco y concentración foliar de N-P-K en respuesta a 12 tratamientos de fertilización química aplicada al suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en una plantación comercial de palma de aceite de ocho años de edad del híbrido *DelixAvros*, ocupando una superficie experimental de 1-34-27 ha. La

plantación se localiza en el Ejido Chancalá-Zapote en Palenque, Chiapas (17° 24' 20" N y 91° 53' 30" O), la precipitación media anual es de 2500 mm, temperatura media anual de 27 °C y altitud de 300 m (INEGI, 2005).

Producción mundial de aceites y grasas en 2012  
(Total: 186,4 millones de toneladas) (Oil World 2013)



**Figura 1.** Producción mundial de aceites vegetales y rendimientos por hectárea de las principales oleaginosas (Tomado de EPOA 2017)

**Cuadro 1.** Superficie de Palma de Aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantada en México hasta el año 2016, producción y rendimientos en los principales estados productores.

Estado	Superficie plantada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción 2016 (t)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	PMR* (\$ t <sup>-1</sup> )
Campeche	23,328	5,822	64,236	11.0	1,158.94
Chiapas	43,444	34,815	463,119	13.3	1,533.17
Tabasco	16,195	10,982	163,005	14.8	1,310.05
Veracruz	7,151	6,989	64,861	9.3	1,325.11
Total Nacional	90,118	58,609	755,222		

\* precio medio rural  
Modificado de SIAP 2017

La caracterización física y química de acuerdo a la WRB 2007, el suelo de la parcela es un Leptosol réndzico. Fisiográficamente estos suelos se localizan en sitios con topografía cerril, ondulada y en plataformas cársticas (planicies calcáreas), el material parental son rocas calcáreas del Terciario. En general son suelos de desarrollo reciente que presentan un horizonte A, oscuro y suave sobre un horizonte C, o CR, el cual yace directamente sobre la roca madre calcárea. El suelo es arcilloso con contenidos de MO muy altos, con pH de 7.7 en los primeros 30 cm y 7.8 en los 30-60 cm siguientes, por lo que se clasifica como neutro a moderadamente alcalino (NOM-021-2000), en el cual casi todos los nutrientes son fácilmente absorbidos por el cultivo (Navarro y Navarro, 2003). El contenido de N en los primeros 30 cm se clasifica como bajo, llegando a un nivel medio de 30-60 cm de profundidad (Cuadro 2). El contenido de P en los primeros 60 cm de profundidad es bajo ya que una cantidad importante del elemento está asociada a la MO y debido a que existe un nivel alto de Ca, el P permanece inmóvil en el suelo (Porta *et al.*, 2003). El contenido de K es muy bajo en los primeros 30 cm pero aumenta en el nivel medio de 30-60 cm; es conocido que los suelos orgánicos presentan bajos contenidos de K debido al exceso de precipitación, lo cual lixivia las arcillas a las capas más profundas, donde se encuentra la mayor concentración de K (Mengel y Kirkby, 2000). La CIC encontrada en las muestras se considera alta en los primeros 30 cm, disminuyendo a mayor profundidad.

### Tratamientos y Diseño Experimental

Para generar los tratamientos experimentales que fueron probados, se empleó el modelo San Cristóbal (Martínez, 1988) partiendo de espacios amplios de exploración: 60, 90, 120, 150 kg N ha<sup>-1</sup>; 30, 60, 90, 120 kg P ha<sup>-1</sup> y 120, 180, 240, 300 kg K ha<sup>-1</sup>. La combinación de estos niveles generó 12 tratamientos que se distribuyeron en el campo bajo un arreglo de bloques completos al azar (BCA), con cuatro repeticiones. La unidad experimental (UE) fue de cuatro palmas en competencia completa, por lo cual la parcela experimental constó de 192 palmas (4×12×4). Los tratamientos de fertilización se aplicaron en campo manualmente, una vez al año, al inicio de la temporada de lluvias, se mezclaron las diferentes fuentes N-P-K en la misma bolsa de polietileno de 10 kg,

para inmediatamente aplicarlo en campo, al voleo en banda de 1 m de ancho, siguiendo un círculo alrededor del tronco de cada palma, aproximadamente a 1.5 m de distancia del tallo sobre la superficie del suelo (zona de goteo) (Sisworo *et al.*, 2004). Las fuentes de fertilizantes comerciales que se utilizaron, fueron Urea al 46 % (N), Superfosfato de Calcio Simple 18.6 % (P) y Cloruro de Potasio al 46 % (K).

### Variables de estudio

**Rendimientos de RFF:** el efecto de los tratamientos sobre esta variable fue estimado a partir del peso de los racimos de fruto fresco (RFF) cosechados en cada UE a lo largo de todo el ciclo y se expresó como la media de

**Cuadro 2.** Características fisicoquímicas de un suelo cultivado con palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Palenque, Chiapas, México.

Variable del suelo	Unidad	Profundidad (cm)	
		0-30	30-60
pH		7.70	7.88
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	cmol (+) kg <sup>-1</sup>	30.9	22.75
Materia Orgánica (MO)	%	6.6	2.55
Nitrógeno Total (Nt)	%	0.4	2.05
P asimilable (P-Olsen)	mg kg <sup>-1</sup>	0.4	0.15
Potasio (K)	cmol (+) kg <sup>-1</sup>	0.26	0.52
Calcio (Ca)	cmol (+) kg <sup>-1</sup>	44.55	49.3
Magnesio (Mg)	cmol (+) kg <sup>-1</sup>	9.4	6.95
Sodio (Na)	cmol (+) kg <sup>-1</sup>	0.07	0.04
Boro (B)	mg kg <sup>-1</sup>	10.40	8.49
Zinc (Zn)	mg kg <sup>-1</sup>	1.95	0.59

las UE y repeticiones, en t ha<sup>-1</sup> de RFF, por tratamiento y por año. Esta variable se evaluó durante cuatro años consecutivos.

**Concentración foliar de N-P-K:** tres meses después de la aplicación de cada tratamiento se hicieron muestreos foliares (Fairhurst y Hardter, 2003) en la hoja 17 por ser esta la que mejor representa el estado nutricional de palmas maduras. Las muestras se analizaron en laboratorio para determinar la concentración de N-P-K y los valores registrados permitieron comparar el efecto de los tratamientos, así como, la evolución de las concentraciones, a lo largo de cuatro años de observaciones. Con los datos obtenidos en laboratorio y en campo durante cuatro años continuos se realizaron los análisis de varianza y comparaciones de medias para las variables bajo estudio (Tukey  $\alpha=0.05$ ). También se analizaron los totales anuales y se compararon entre sí.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los rendimientos de fruto fresco fueron crecientes durante los primeros tres ciclos, mientras que en el último año (2010) el rendimiento disminuyó casi a la mitad. Este incremento se explica por la influencia positiva de la fertilización sobre el rendimiento variable, a excepción de la cosecha 2010, donde las condiciones climáticas fueron desfavorables (año seco) y no permitieron que se expresara el efecto de la fertilización química. Los promedios anuales de RFF observados

dos del suelo, lo que permite mantener productivas las plantaciones en el mediano y largo plazo. Esta dosis además es la más económica y la más conveniente para los Leptosoles réndzicos, los cuales de manera natural presentan más fertilidad que otros suelos, por lo cual es recomendable aportar dosis más bajas de fertilizantes. Aun cuando en 2008 y 2010 se obtuvieron los más altos RFF con la dosis más baja, se deben considerar las variaciones anuales en la productividad del cultivo. Si al utilizar la dosis 60-30-120 en el suelo

Leptosol réndzico se presentan deficiencias de P, se debería aplicar la dosis 60-90-120 para suplirlas convenientemente.

### Concentración de nitrógeno foliar

En 2006 la concentración de N no mostró diferencias significativas entre tratamientos, pero el promedio de N foliar para la plantación fue de 2.47 % (Cuadro 4) el cual está dentro del rango óptimo (2.4-2.8) recomendado para el cultivo (Salgado *et al.*, 2013). Con excepción del tratamiento 90-120-180, todos los demás estuvieron dentro del rango óptimo de N. En experimentos con fertilización nitrogenada es común que no se observen respuestas inmediatas; esto se debe a que solo una parte del N aportado es absorbido por la planta y esta puede ser destinada en su mayor parte a la producción y ser exportada junto con la cosecha de racimos (Pérez-Peralta *et al.*, 2005). En 2007, segundo año del experimento, los

tratamientos de fertilización no mostraron diferencias significativas, presentándose incluso una baja respecto a los valores del año anterior, con una media general de 2.0 % de N en la plantación (Cuadro 4), lo que indicó una concentración deficiente de N foliar respecto al óptimo recomendado. Una respuesta similar es reportada por Mite *et al.* (2002) durante el segundo año de experimentación con fertilizantes nitrogenados; esto refleja probablemente que la demanda de N en la palma de aceite en los meses de junio a diciembre, en los cuales ocurre mayor RFF, se incrementa de manera importante (Figura 2), consumiendo todo el fertilizante aplicado y además agotando las reservas contenidas en la planta.

**Cuadro 3** Rendimiento de RFF con diferentes tratamientos de fertilización *Elaeis guineensis* Jacq., cultivada en Chiapas, México, durante cuatro años de evaluación.

Tratamiento N-P-K	Rendimiento RFF (t ha <sup>-1</sup> )				
	2007	2008	2009	2010	Promedio
60-30-120	19.50 a	45.18 a	77.10 a	37.20 a	44.75 a
120-30-120	19.79 a	43.12 a	81.29 a	35.25 a	44.86 a
60-90-120	20.25 a	36.88 a	77.14 a	34.50 a	42.19 a
120-90-120	16.60 a	42.77 a	83.66 a	32.17 a	43.80 a
60-30-240	22.91 a	41.02 a	71.22 a	29.48 a	40.70 a
120-30-240	20.60 a	39.67 a	76.18 a	34.44 a	42.72 a
60-90-240	21.10 a	41.17 a	78.43 a	30.87 a	42.87 a
120-90-240	22.90 a	41.67 a	79.35 a	28.46 a	43.10 a
90-60-180	16.87 a	40.76 a	80.41 a	30.00 a	42.01 a
150-60-180	20.78 a	38.48 a	74.29 a	33.62 a	41.80 a
90-120-180	18.67 a	40.71a	74.87 a	29.69 a	41.00 a
90-60-300	19.96 a	38.22 a	79.12 a	35.48 a	43.20 a
Medias	19.84 d	40.80 b	77.75 a	32.60 c	42.75
Pr>F	0.37	0.66	0.57	0.14	0.74
C.V. (%)	44.02	25.66	18.10	29.93	14.48
DMS	10.23	12.26	16.48	11.43	7.25

Dentro de columnas, literales iguales indican igualdad estadística entre tratamientos. En la hilera de medias, literales diferentes indican diferencias estadísticas entre años (Tukey  $P \geq 0.05$ ).

fueron 19.8; 40.8; 77.8 y 32.6 t ha<sup>-1</sup> para los años 2007, 2008, 2009 y 2010, respectivamente (Cuadro 3). Dado que el coeficiente de variación de los RFF fue muy alto, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos. Los rendimientos obtenidos en este estudio superan los reportados por Pérez-Peralta *et al.* (2005) y Cruz y Ramírez (1984). El mayor rendimiento (83.6 t ha<sup>-1</sup>) se obtuvo con la dosis 120-90-120 en el año 2009.

De modo preliminar, la dosis 60-30-120 se puede considerar la más adecuada para este tipo de suelos ya que aporta los nutrimentos N-P-K en proporción a la demanda del cultivo y restituye los elementos extraí-

**Cuadro 4.** Efecto de tratamientos sobre la concentración de N foliar (% MS) en *Elaeis guineensis* Jacq., cultivada en Chiapas, México, durante cuatro años de evaluación.

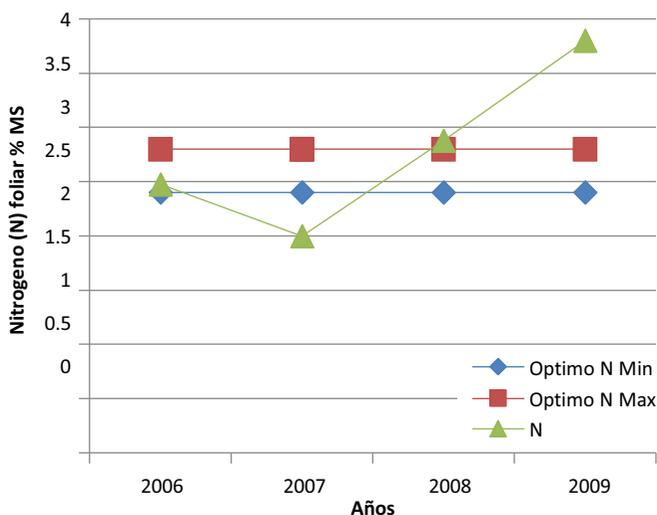
Tratamiento N-P-K	2006	2007	2008	2009	Promedio cuatro años
60-30-120	2.50 a	1.95 a	2.90 a	3.90 a	2.81 a
120-30-120	2.59 a	2.00 a	2.95 a	3.76 a	2.83 a
60-90-120	2.56 a	2.13 a	2.95 a	3.76 a	2.85 a
120-90-120	2.42 a	2.00 a	2.82 a	3.89 a	2.79 a
60-30-240	2.43 a	1.95 a	2.87 a	3.92 a	2.80 a
120-30-240	2.65 a	2.00 a	2.70 a	3.64 a	2.75 a
60-90-240	2.43 a	1.86 a	2.87 a	3.75 a	2.73 a
120-90-240	2.40 a	2.00 a	2.92 a	3.73 a	2.76 a
90-60-180	2.50 a	2.00 a	2.97 a	3.78 a	2.82 a
150-60-180	2.43 a	2.05 a	2.87 a	3.85 a	2.80 a
90-120-180	2.35 a	2.05 a	2.72 a	3.84 a	2.74 a
90-60-300	2.44 a	2.04 a	2.97 a	3.76 a	2.80 a
Media	2.47 c	2.00 d	2.88 b	3.80 a	2.79
Pr>F	0.65	0.84	0.95	0.96	0.93
C.V. (%)	8.02	8.81	9.96	7.14	4.07
DMS	0.49	0.43	0.71	0.67	0.28

Dentro de columnas, literales iguales indican igualdad estadística entre tratamientos. En la hilera de medias, literales diferentes indican diferencias estadísticas entre años (Tukey  $P \geq 0.05$ ).

En 2008, la concentración de N foliar no mostró diferencias entre tratamientos, aun cuando el promedio en la plantación aumentó considerablemente respecto al año anterior, alcanzando un valor promedio de 2.88 %, lo cual indicó un efecto positivo de las aplicaciones que

un alto RFF, el cual generó una demanda elevada de N. En otros estudios se ha reportado que cuando existe una elevada producción de frutos, la concentración de nutrimentos foliares disminuye (Mite *et al.*, 2002). Dado que el promedio de cuatro años de N fue de 2.79 %, se deduce que 60 kg ha<sup>-1</sup> de N pueden ser suficientes para mantener la concentración de este elemento en el rango óptimo y mantener el nivel de fertilidad del suelo (Cuadro 3).

### Concentración de fósforo foliar



**Figura 2.** Concentración de nitrógeno foliar (% MS) en un experimento de fertilización en *Elaeis guineensis* Jacq., en Chiapas, México, y su relación con los niveles óptimos recomendados para el cultivo.

aumentaron de forma importante el nitrógeno foliar. En el último año del muestreo foliar (2009), la concentración promedio aumentó aún más, hasta alcanzar en la plantación un valor de 3.80 % (Figura 2), sin que por ello se observaran diferencias significativas entre tratamientos. Durante el experimento, la concentración de N foliar presentó una variación significativa; en 2006 se determinó una concentración óptima en las palmas, aunque al siguiente año disminuyó (2007).

En 2008 y 2009 se registraron aumentos importantes que se reflejaron en mejores RFF. Al hacer las comparaciones entre tratamientos, el N foliar no mostró diferencias significativas en ninguno de los cuatro años consecutivos. La deficiencia de N observada en 2007 se atribuyó a que ese año se registró

La concentración de P resultante de la primera fertilización tuvo un promedio general de 0.16 % pero no mostró diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 5). En este estudio, la concentración de P disminuyó en 0.01 % respecto al valor preliminar, probablemente por mayor demanda y bajo contenido de P del suelo (Pérez-Peralta *et al.*, 2005), no obstante, la concentración foliar permaneció dentro del rango óptimo (0.16 % a 0.18 %) reportado en la literatura (Salgado *et al.*, 2013). En el segundo año, los tratamientos evaluados no mostraron diferencias estadísticas; la concentración foliar en la parcela se mantuvo estable respecto al año anterior con 0.16% de P (Cuadro 5), lo que podría deberse que RFF demandó cantidades de P similares a las aplicadas en los tratamientos experimentales. De acuerdo a otros estudios la concentración foliar no necesariamente se incrementa con dosis crecientes, y tampoco se refleja en los diferentes años (Abdul *et al.*, 2014).

**Cuadro 5.** Efecto de tratamientos sobre la concentración de P foliar (% MS) en *Elaeis guineensis* Jacq., cultivada en Chiapas, México, durante cuatro años de evaluación.

Tratamiento (NPK)	2006	2007	2008	2009	Promedio de cuatro años
60-30-120	0.16 a	0.16 a	0.14 a	0.15 a	0.15 a
120-30-120	0.16 a	0.16 a	0.13 a	0.18 a	0.16 a
60-90-120	0.16 a	0.17 a	0.14 a	0.15 a	0.16 a
120-90-120	0.16 a	0.17 a	0.11 a	0.15 a	0.15 a
60-30-240	0.19 a	0.17 a	0.11 a	0.19 a	0.17 a
120-30-240	0.16 a	0.16 a	0.13 a	0.13 a	0.15 a
60-90-240	0.18 a	0.16 a	0.14 a	0.16 a	0.16 a
120-90-240	0.16 a	0.16 a	0.13 a	0.15 a	0.15 a
90-60-180	0.14 a	0.17 a	0.14 a	0.15 a	0.15 a
150-60-180	0.16 a	0.15 a	0.11 a	0.15 a	0.15 a
90-120-180	0.16 a	0.17 a	0.11 a	0.18 a	0.16 a
90-60-300	0.18 a	0.17 a	0.13 a	0.22 a	0.18 a
Media	0.16 a	0.16 a	0.13 b	0.16a	0.15
Pr>F	0.18	0.69	0.70	0.38	0.22
C.V. (%)	13.10	9.86	24.38	28.61	9.45
DMS	0.05	0.04	0.077	0.11	0.04

Dentro de columnas, literales iguales indican igualdad estadística entre tratamientos. En la hilera de medias, literales diferentes indican diferencias estadísticas entre años (Tukey  $P \geq 0.05$ ).

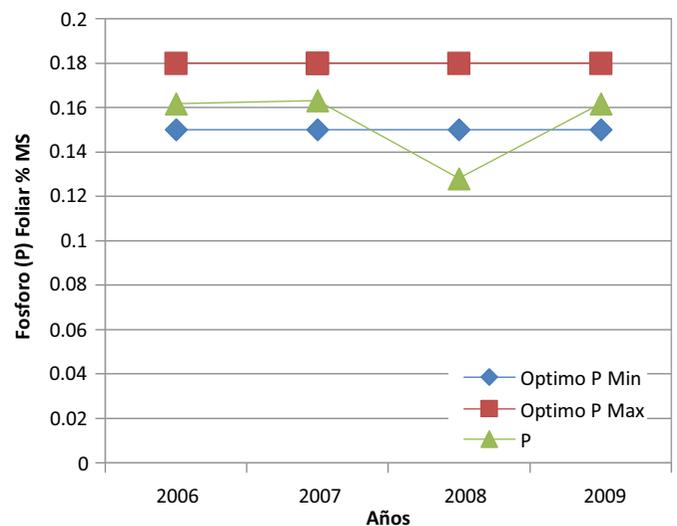
los tratamientos presentaron mucha variabilidad para la concentración nutrimental, con coeficientes de variación de hasta 28 %, lo cual podría considerarse muy alto y enmascararía los efectos de los tratamientos. La concentración de P disminuyó hasta 0.11 % en el año 2008, probablemente porque en este año se duplicaron los RFF; la producción se incrementó a medida que el cultivo tuvo más edad, y por lo tanto aumentó la demanda de P. En la generación de dosis de fertilización es necesario considerar la importancia que tiene el balance demanda-suministro, dado que en plantaciones en desarrollo las necesidades nutrimentales varían en razón de su productividad y del manejo (Tarmizi y Mohd, 2006).

### Concentración de potasio foliar

Al evaluar la respuesta foliar a la primera aplicación de K (2006) se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos. A nivel de la parcela se registró un promedio de 0.38 %, valor que es inferior al óptimo recomendado de 1.0 %, pero

El resultado de la tercera aplicación (2008) no mostró diferencias significativas en los tratamientos estudiados, aunque este año se observaron los valores más bajos registrados en el estudio (0.13 % en promedio), lo que significa una deficiencia de P en la plantación (Figura 3).

Probablemente esto obedece a que este año los RFF se duplicaron, al pasar de 19.8 a 40.8 t ha<sup>-1</sup> de RFF, generando alta demanda de este nutriente. En 2009 la concentración de P se estabilizó en un nivel óptimo, excepto en el tratamiento 120-30-240. Es de notar que el tratamiento 90-60-300, con baja dosis de P pero con la mayor dosis de K, es el que presentó el mayor incremento de P foliar hasta alcanzar 0.22 %. Al hacer comparaciones de todos los datos del estudio se observaron diferencias significativas, siendo 2008 el que tuvo valores más bajos, con niveles claramente deficientes de P en casi todos los tratamientos (Cuadro 5). Pérez-Peralta *et al.* (2005) encontraron diferencias entre años y reportan que la concentración de P disminuyó en el segundo año, y que se presentó únicamente con la dosis más baja (30 kg ha<sup>-1</sup> P), mientras que en este estudio se registraron deficiencias incluso con las dosis más altas. Al respecto, Abdul *et al.* (2014) no encontraron diferencias significativas en la concentración foliar entre fechas debido a que las dosis aplicadas no fueron suficientes para cubrir la demanda. En resumen, se observó que



**Figura 3.** Concentración de fósforo foliar (% MS) en un experimento de fertilización en *Elaeis guineensis* Jacq., cultivada en Chiapas, México, y su relación con los niveles óptimos recomendados para el cultivo

mayor en 0.13 % respecto al muestreo preliminar (Cuadro 2), lo que indica que la fertilización potásica si tuvo un efecto en la nutrición de las palmas. El valor medio producido por la fertilización probablemente indica que el K fue absorbido y almacenado en los órganos de la palma, produciendo un aumento de las reservas, aun cuando el cultivo requería mayores cantidades para alcanzar el nivel óptimo (Cuadro 6).

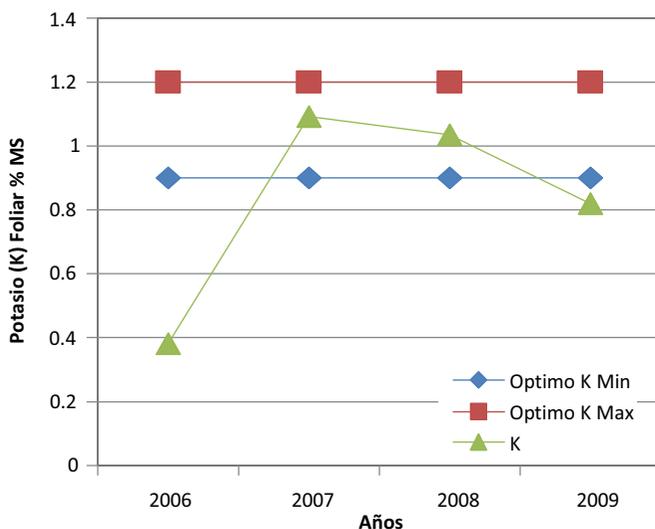
En el segundo año de experimentación la concentración media de K en la parcela aumentó hasta 1.09 %, alcanzando el nivel óptimo recomendado (Fairhurst y Hardter, 2003), aunque no se observaron diferencias entre tratamientos. El incremento promedio de 0.71 % en el K foliar indica un efecto positivo de la fertilización, sin embargo el efecto es generalizado y no se observa relación entre dosis y concentración foliar. Por lo anterior se sugiere se aplique la dosis de 120 kg ha<sup>-1</sup> de K (Cuadro 6), considerando que este suelo tiene contenidos altos de K en los primeros 30 a 60 cm de profundidad.

**Cuadro 6.** Efecto de tratamientos sobre la concentración de K foliar (% MS) en *Elaeis guineensis* Jacq., cultivada en Chiapas, México, durante cuatro años de evaluación.

Tratamiento N P K	2006	2007	2008	2009	Promedio de cuatro años
60-30-120	0.60 a	1.16 a	0.96 a	0.86 a	0.90 a
120-30-120	0.50 ab	1.00 a	0.94 a	0.83 a	0.82 a
60-90-120	0.50 ab	0.97 a	0.89 a	0.76 a	0.78 a
120-90-120	0.44 abc	1.16 a	0.89 a	0.77 a	0.82 a
60-30-240	0.37 bcd	1.14 a	1.04 a	0.80 a	0.84 a
120-30-240	0.31 cd	0.99 a	1.07 a	0.80 a	0.79 a
60-90-240	0.35 bcd	1.29 a	1.05 a	0.82 a	0.88 a
120-90-240	0.26 d	1.02 a	1.16 a	0.88 a	0.83 a
90-60-180	0.31acd	1.13 a	1.14 a	0.90 a	0.87 a
150-60-180	0.31 cd	1.04 a	1.08 a	0.83 a	0.81 a
90-120-180	0.29 acd	1.13 a	1.04 a	0.78 a	0.82 a
90-60-300	0.36 bcd	1.08 a	1.14 a	0.83 a	0.86 a
Media	0.38 c	1.09 a	1.03 a	0.82 b	0.83
Pr>F	0.0001	0.51	0.66	0.91	0.90
C.V. (%)	17.82	16.78	20.94	15.61	12.33
DMS	0.17	0.47	0.53	0.32	0.26

Dentro de columnas, literales iguales indican igualdad estadística entre tratamientos. En la hilera de medias, literales diferentes indican diferencias estadísticas entre años (Tukey P≥0.05).

La aplicación de fertilizantes en 2008 no produjo diferencias entre tratamientos aunque el promedio de K foliar se mantuvo en el rango óptimo en casi todos los tratamientos (Fairhurst y Hardter, 2003). Al evaluar la fertilización potásica en una parcela experimental con dosis bajas Villalobos *et al.* (1999), encontraron una concentración de K foliar en niveles muy cercanos al óptimo. En el cuarto año de experimentación (2009) no se observan diferencias estadísticas, y presentó disminución en la concentración de K en todos los tratamientos. En este estudio, las dosis aplicadas no mostraron relación directa con la concentración foliar. Las dosis evaluadas fueron las mismas durante cuatro años, pero el K foliar se comportó de manera muy variable (Cuadro 6); en el muestreo inicial la concentración era deficiente (0.34 %) al igual que después de la primera aplicación (0.38 %). En el segundo y tercer año el K aumentó hasta alcanzar la concentración óptima, pero disminuyó en el año 2009 (Figura 4).



**Figura 4.** Concentración de potasio foliar (% MS) en un experimento de fertilización en *Elaeis guineensis* Jacq., cultivada en Chiapas, México, y su relación con los niveles óptimos recomendados para el cultivo.

Al analizar los promedios anuales de K foliar se observan diferencias significativas entre años (Cuadro 6); correspondiendo valores óptimos a los años 2007 y 2008. Lo anterior indica que el K aplicado al suelo fue absorbido por el cultivo y mejoró la nutrición de la parcela en general, a pesar del incremento en la cosecha. Visto que las dosis más bajas tienen el mismo efecto en el cultivo que las dosis más altas, durante cuatro años consecutivos de evaluación, se sugiere

emplear la dosis de 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O y continuar la experimentación en la región.

## CONCLUSIONES

**El manejo** de la fertilización incrementó los rendimientos de RFF, cuadruplicándose del primero al tercer año al pasar de menos de 20 t ha<sup>-1</sup> hasta 78 t ha<sup>-1</sup>. Los tratamientos no mostraron efecto sobre la concentración foliar de N, aunque se observaron variaciones interanuales significativas en esta variable. La fertilización contribuyó a mantener los niveles foliares de N dentro del rango normal. La fertilización fosfórica no mostró efecto significativo entre tratamientos, pero ayudó a mantener el nivel normal durante los primeros dos años mostrando efectos favorables en la nutrición de las palmas. En el tercer año se presentó una alta producción de RFF que triplicó los rendimientos, lo cual generó una deficiencia de P. En el año cuatro el tratamiento 90-60-300 mostró un exceso de P. La fertilización potásica al suelo incrementa su concentración foliar, pasando de deficiente a óptimo en el transcurso de cuatro años. Para las plantaciones de palma de aceite establecidas en el norte de Chiapas se sugiere aplicar la dosis 60-30-120 ya que registra altos rendimientos de RFF, y contribuye a mantener las concentraciones foliares de N-P-K dentro de valores normales.

## LITERATURA CITADA

- Abdul R.Z., Gikonyo E.W., Silek B., Goh K.J., Soltangheisi A. 2014. Evaluation of phosphate rock sources and rate of application on oil palm yield grown on peat soils of Sarawak, Malaysia. *Journal of Agronomy* 13 (1): 12-22.
- Comte I., Colin F., Whalen J. K., Grünberger O., Caliman J. P. 2012. Agricultural practices in oil palm plantations and their impact on hydrological changes, nutrient fluxes and water quality in Indonesia. In: Donald L. Sparks, (ed.): *Advances in Agronomy*, Vol. 116, Burlington: Academic Press, pp. 71-124. ISBN: 978-0-12-394277-7.
- Cruz M. R., Ramírez Z. R. 1984. Determinación de la ecuación de respuesta (NPK) de la palma africana en la costa de Chiapas. XV Congreso Nacional. *Terra* 2(2): 171-174. Chiapas, Mexico.
- Fairhurst T., Hartera R. 2003. Management for large and sustainable yield. PPI/PPIC, Singapore. 1a Edic. 384 p.
- EPOA European Palm Oil Alliance. 2017. Producción del aceite de palma. <http://www.palmoilandfood.eu/es/producci%C3%B3n-del-aceite-de-palma>. Fecha de consulta 05/05/2017.
- INEGI 2005. Anuario estadístico de Tabasco. INEGI - Gobierno del Estado de Tabasco. Mapas. Aguascalientes, México 89p.
- Martínez G. A. 1988. Diseños Experimentales. Métodos y elementos de teoría. Editorial, Trillas. México, D.F. 756 p.
- Mengel K., Kirkby E. A. 2000. Principios de nutrición vegetal. International Potash Institute, traducción al español de la 4ta edición (1987). 692 p.
- Mite F., Carrillo M., Espinosa J. 2002. Efecto del manejo del cultivo y los fertilizantes en el uso eficiente de nitrógeno en palma de aceite. *INPOFOS*, p 4.
- Navarro G. G., Navarro S. B. 2003. Química Agrícola. Ediciones Mundi-Prensa, México, D.F. 487 p.
- NOM-021-RECNAT-2000. 2002. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 75 p.
- Pérez-Peralta C., Castelán-Estrada M., Salgado-García S., Palma-López D. 2005. Estado nutrimental NPK en palma de aceite en Jalapa, Tabasco. Memoria de la XVIII Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2005. No18. ISSN 1405-1591. p 466-472.
- Porta J., López-Acevedo M., Roquero C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente, 3a Edición. Edición Mundi-Prensa, España, 960p.
- Salgado G. S., Palma D.J., Castelán E. M., Lagunes E. L. C., Ortiz L. H. 2013. Manual de procedimientos para el muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación en cultivos tropicales. Campus Tabasco, CP-ISPROTAB. Villahermosa, Tabasco. 76p.
- Santacruz L., Morales G., Palacio M. 2012. Políticas gubernamentales y reconversión productiva: el caso de la palma de aceite en México. *Observatorio de la Economía Latinoamericana* 170. Texto completo en: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/mx/2012>
- SIAP 2017. Producción Agrícola. Ciclo: cíclicos y perennes. Modalidad: temporal palma africana o de aceite. <http://www.siap.gob.mx/> Fecha de consulta 22/05/2017.
- Sisworo E.L., Sisworo W.H., Rasjid H.H., Rizal S. 2004. The use of 32P and 15N to estimate fertilizer efficiency in oil palm. *Atom Indonesia*.1:1-7 sobre recursos mundiales de suelos 84. Roma, Italia. 98 p.
- Tarmizi A. M., Mohd T. D. 2006. Nutrient demand of Tenera oil palm planted on inland soils of Malaysia. *Malaysia palm oil Board. Journal of oil palm research* 18:204-209.
- Villalobos E., Chinchilla C., Umaña C. H. León H. 1999. Déficit hídrico en palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en costa Rica. *Irrigación y Fertilización con potasio*. Turrialba 4:421-427.
- WRB 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. 2007. 2da Edición, Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos 103, FAO, ROMA.