



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

---

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS TABASCO**

**PROGRAMA EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO**

**Fertilización N-P-K en Plantaciones de palma de  
aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el norte de  
Chiapas**

**ALBERTO CÓRDOVA SÁNCHEZ**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO.

2009

---

---

La presente tesis titulada: **Fertilización NPK en Plantaciones de palma de aceite (*Elaeis guineensis Jacq.*) en el norte de Chiapas**, fue realizada por el alumno: Alberto Córdova Sánchez, bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO**

**CONSEJO PARTICULAR**

**CONSEJERO:**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Mepivoseh Castelán Estrada**

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. José Jesús Obrador Olán**

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Sergio Salgado García**

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Guillermo Calderón Zavala**

**H. CÁRDENAS TABASCO, MÉXICO, 09 DE DICIEMBRE, 2009**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al **CONACYT** por el apoyo que recibí al ser becado para la realización del postgrado de maestría en ciencias dentro del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.

Agradezco al Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, por darme la oportunidad de aprender y seguir superándome.

Agradezco a mi consejo particular formado por los Doctores: Mepivoseth Castelán Estrada, José Jesús Obrador Olán, Sergio Salgado García y Guillermo Calderón Zavala por sus valiosas aportaciones durante la realización del presente trabajo.

Agradezco a los productores de palma de aceite del municipio de Palenque, Chiapas por apoyarme en trabajar en sus parcelas.

Agradezco a todos mis maestros, mi más profundo agradecimiento por sus enseñanzas, sugerencias, consejos y por todo el tiempo que con paciencia dedicaron durante mi periodo estudiantil en el Colegio de Postgraduados.

Agradezco el gran apoyo que me brindó mi amigo el Ing. Mateo Osorio Miranda, durante el desarrollo de esta tesis.

## DEDICATORIA

Al divino creador “**DIOS**” todo poderoso, pues con su guía y amor pude llevar a cabo este nuevo reto en mi vida. Sin su ayuda nada es posible.

A mi madre: Adelita Sánchez Sánchez

A mi padre: Alberto Córdova Flores.

Por haberme permitido ver la luz y darme vida, también por su cariño y comprensión durante todo estos años.

A mis hermanos: Samuel, Erick, Madia y Manuel por el compañerismo, y el gran apoyo que siempre me han brindado.

A mi esposa: Raquel Jiménez Ramírez por darme ánimo y apoyo moral en la redacción de la tesis.

## CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
1. INTRODUCCIÓN .....	2
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	4
2.1. Objetivos .....	4
2.2. Hipótesis .....	4
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
3.1. Generalidades sobre la palma de aceite .....	5
3.2. El cultivo de la palma de aceite.....	6
3.2.1. Importancia de la nutrición en la palma de aceite .....	6
3.2.2. Funciones del Nitrógeno (N) y síntomas de deficiencia .....	6
3.2.3. Funciones del Fósforo (P) y síntomas de deficiencia .....	8
3.2.4. Funciones del Potasio (K) y síntomas de deficiencia.....	9
3.2.5. Absorción NPK por la palma de aceite.....	11
3.3. Los nutrimentos en la palma de aceite .....	13
3.3.1. Interacciones nutrimentales .....	13
3.3.2. Demanda nutrimental .....	15
3.3.3. Concentración nutrimental en hojas .....	18
3.4. Requerimientos climáticos .....	19
3.5. Los suelos para plantaciones de palma de aceite .....	21
3.5.1. Requerimientos edáficos .....	21
3.5.2. Aptitud de suelos para palma de aceite .....	23
3.5.3. El Nitrógeno del suelo .....	25
3.5.4. El Fósforo del suelo .....	26
3.5.5. El Potasio del suelo .....	28
3.6. Antecedentes de la fertilización NPK en palma de aceite en de México .....	30
3.6.1. Manejo de la fertilización en la palma de aceite .....	30
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	32
4.1. Localización del sitio de estudio .....	32
4.2. Muestreo para fertilidad de suelo .....	33
4.3. Descripción y Clasificación de los suelos de las parcelas Filadelfia y Chancalá-Zapote .....	36
4.4. Tratamientos y Diseño Experimental .....	37
4.5. Fertilización .....	38
4.6. Muestreos foliares .....	39
4.7. Análisis estadísticos.....	41
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
5.1. Clasificación de los Suelos de las Parcelas Experimentales.....	42
5.2. Estado Nutrimental Preliminar de las Parcelas Experimentales .....	44
5.2.1. Concentración inicial NPK, parcela Filadelfia.....	44

5.3. Efecto de tratamientos en la parcela Filadelfia .....	46
5.3.1. Concentración de N foliar .....	46
5.3.2. Concentración P foliar .....	50
5.3.3. Concentración K Foliar .....	53
5.4.1. Concentración de N foliar .....	56
5.4.2. Concentración de P foliar .....	59
5.5. Rendimiento de RFF y costos fertilización en la parcela Filadelfia.....	64
5.6. Rendimiento de RFF y costos de fertilización en la parcela Chancalá-Zapote. ....	67
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	70
7. LITERATURA CITADA.....	72
8. ANEXOS .....	80
A1 Perfil 1de la parcela Filadelfia, Chiapas.....	81
A.2 Perfil 2 de la parcela Chancalá- Zapote.....	82
A.3 Perfil 3 de la parcela Chancalá- Zapote.....	83
A.5 Croquis de la parcela Chancalá-Zapote .....	85

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Producción mundial de los diez principales aceites vegetales. ....	2
Cuadro 2. Intervalos críticos de concentración foliar de nutrimentos en palma de aceite (% de materia seca) .....	18
Cuadro 3. Características de los suelos recomendados para el cultivo de la palma de aceite.....	21
Cuadro 4. Clase de aptitud de tierras para cultivo de palma de aceite, según las propiedades del suelo.....	24
Cuadro 5. Caracterización física y química de un suelo cultivado con palma de aceite en la parcela experimental “Filadelfia” en Palenque, Chiapas.....	34
Cuadro 6. Caracterización física y química del suelo cultivado con palma de aceite en “Chancalá-Zapote” del Municipio de Palenque, Chiapas.....	36
Cuadro 7. Tratamientos de fertilización NPK para palma de aceite, probados en las parcelas experimentales Filadelfia y Chancalá-Zapote, Palenque Chiapas.....	38
Cuadro 8. Fuentes de fertilizante aplicado en las fórmulas de fertilización a la palma de aceite en las parcelas Filadelfia y Chancalá-Zapote, de palenque, Chiapas.....	39
Cuadro 9. Muestreos y aplicación de tratamientos de fertilización en palma de aceite en las parcelas experimentales Filadelfia y Chancalá-Zapote en Palenque Chiapas .....	40
Cuadro 10. Concentración foliar media NPK (% MS); muestreo preliminar en palma de aceite, parcela experimental Filadelfia en Palenque, Chiapas.....	45
Cuadro 11. Concentración foliar media NPK (% MS); muestreo preliminar en palma de aceite, parcela experimental Chancalá-Zapote, Palenque Chiapas.....	46
Cuadro 12. Efecto de los tratamientos en la concentración Foliar de N por muestreo de tres años de evaluación, en la parcela Filadelfia.....	48
Cuadro 13. Efecto de tratamientos sobre la concentración de P foliar (% MS) en palma de aceite durante tres años de experimentación, Parcela Filadelfia.....	52
Cuadro 14. Efecto de tratamientos sobre la concentración de K foliar (% MS) en palma de aceite durante los tres años de experimentación, Parcela Filadelfia.....	55
Cuadro 15. Efecto de tratamientos sobre la concentración de N foliar (% MS) en palma de aceite durante tres años de experimentación, Parcela Chancalá-Zapote.....	57
Cuadro 16. Efecto de tratamientos sobre la concentración de P foliar (% MS) en palma de aceite durante tres años de experimentación, Parcela Chancalá-Zapote.....	61
Cuadro 17. Efecto de tratamientos sobre la concentración de K foliar (%MS) en palma de aceite durante tres años de experimentación, parcela de Chancalá- Zapote.....	63
Cuadro 18. Rendimiento de RFF de palma de aceite bajo diferentes tratamientos de fertilización, costos de las dosis y margen de ganancia en 2008. Parcela Filadelfia, Palenque Chiapas.....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las parcelas experimentales de palma de aceite en Filadelfia y Chancalá-Zapote en el municipio de Palenque, Chiapas.....	32
Figura 2.- Muestreo de N Foliar de tres años en 2 meses diferentes con rendimientos muy variables en la parcela Chancalá-Zapote.....	50
Figura 3.- Muestreo de N Foliar de tres años en 2 meses diferentes con rendimientos muy variables en la parcela Filadelfia.....	58



## RESUMEN

Debido a que existe un conocimiento limitado sobre las necesidades nutricionales del cultivo de la palma de aceite en el norte de Chiapas, se realizó el presente estudio con el objetivo de evaluar diferentes tratamientos de fertilización NPK en plantaciones comerciales de palma de aceite, a través del rendimiento y la concentración foliar de NPK. Para ello, se establecieron dos parcelas experimentales en el municipio de Palenque, Chiapas en plantaciones del híbrido Deli x Avros, de 8 años de edad. Mediante el Modelo San Cristóbal se generaron 12 tratamientos que cubren un rango amplio de fertilización; estos se evaluaron bajo un diseño de bloques completos al azar. Los niveles de N probados fueron: 60, 90, 120 y 150 kg ha<sup>-1</sup>; de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: fueron 30, 60, 90, 120 kg ha<sup>-1</sup> y de K<sub>2</sub>O: 120, 180, 240, 300 kg ha<sup>-1</sup>. Los efectos sobre la concentración foliar se analizaron durante tres años, mientras que el rendimiento de RFF se estudió durante 2 ciclos de cosecha. La clasificación de los suelos indica un Luvisol háplico en la parcela Filadelfia, mientras en la parcela Chancalá-Zapote se encontró un Léptosol réndzico.

Los resultados indican que no hubo respuesta significativa en el rendimiento de Racimos de Fruto Fresco a la fertilización. Los rendimientos de RFF obtenidos en 2008 oscilaron entre 20 a 27 t ha<sup>-1</sup> en la parcela Filadelfia, los cuales son casi el doble respecto al año anterior; mientras que en la parcela Chancalá-Zapote el rendimiento de RFF para el mismo año varió entre 36 a 45 t ha<sup>-1</sup>, e igualmente se aprecia una duplicación respecto al año previo. Por lo anterior, se sugiere adoptar una dosis mínima de fertilizantes (60-90-120) ya que el equilibrio de la demanda vegetal puede ser satisfecho a un costo bajo, el rendimiento de RFF es elevado y se puede mantener la fertilidad de los suelos en el largo plazo. La concentración foliar NPK, no mostró diferencias estadísticas por efecto de la fertilización, pero se observaron incrementos generales en la concentración media de las parcelas hasta alcanzar niveles óptimos. El K foliar fue el único que permaneció deficiente en la parcela Filadelfia.

**Palabras Clave:** nutrición, concentración foliar, rendimiento, clasificación de suelos.

## ABSTRACT

There is limited knowledge about the nutritional needs of growing oil palm in northern Chiapas, so the present study was conducted to evaluate different fertilization treatments of NPK on plantations of palm oil, by yield and foliar concentration of NPK. For this purpose, two experimental plots were established in Palenque, Mexico in plantations of hybrid Deli x Avros, 8 years old. By Model San Cristóbal 12 treatments were generated covering a wide range of fertilization, these designs were evaluated under randomized complete block. Nitrogen levels tested were: 60, 90, 120 and 150 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: were 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 foliar concentration were analyzed for three years, while the yield of FFB was studied for 2 cycles of harvest. The soil classification indicates a Haplic Luvisol in Philadelphia, while in Chancalá a Leptosol réndzico was found.

The results indicate that there was no significant response in yield of fresh fruit bunches to fertilization. RFF yields obtained in 2008 ranged from 20 to 27 t ha<sup>-1</sup> at Philadelphia, which is almost double that previous year, while in the Chancalá RFF performance for the same year ranged from 36 to 45 t ha<sup>-1</sup> and also we see a doubling over respect the previous year. Based on these conclusions, authors suggest taking a minimal dose of fertilizer (60-90-120) as the balance of plant demand can be satisfied at low cost, the performance of producing FFB is high and can maintain soil fertility in the long term. NPK foliar concentrations showed no statistical differences by fertilization effect, but there were overall increases in the average concentration of the parcels to reach optimum levels. The leaf K was the only one nutrient remained deficient in Philadelphia.

**Keywords:** nutrition, foliar concentration, yield, soil classification

## 1. INTRODUCCIÓN

La palma de aceite, conocida también como palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.), ha aumentado su volumen de producción a nivel mundial y actualmente es la primera fuente más importante de aceite vegetal superando incluso a la soya (Cuadro 1). La palma de aceite presenta la gran ventaja de producir rendimientos de más de 4 t ha<sup>-1</sup> de aceite por año, mientras que la soya produce sólo 0.35 t ha<sup>-1</sup> de aceite por ciclo (Kee y Goh, 2006). La palma es un cultivo que requiere de suelos fértiles, con un horizonte superficial de 80 a 120cm., de textura franca y subsuelo arcilloso no pesado, y que disponga de un aporte continuo de humedad. Los suelos con estas características, permiten que las palmas se desarrollen en buen estado ya que se abastecen de agua y absorben los nutrimentos del suelo (González *et al.*, 1999).

**Cuadro 1. Producción mundial de los diez principales aceites vegetales.**

<b>PRODUCTO</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
Palma de aceite	28.257	30.985	33.848	37.122	38.310
Soya	31.244	30.736	33.635	35.289	37.482
Colza	12.697	15.089	16.296	18.480	18.720
Girasol	8.896	9.393	9.759	11.173	10.890
Algodón	3.992	4.371	5.008	4.915	5.060
Palmiste	3.347	3.582	3.977	4.345	4.453
Maní	4.607	4.718	4.509	4.375	4.221
Coco	3.270	3.038	3.240	3.115	3.108
Oliva	2.904	3.110	2.939	2.799	3.024
Maíz	2.017	2.025	2.135	2.274	2.326
<b>Total</b>	<b>103.234</b>	<b>109.051</b>	<b>117.351</b>	<b>125.893</b>	<b>129.601</b>

Fuente: Oil Word anual 2008. (Miles de toneladas).

En México la primera plantación con fines comerciales fue establecida en la costa de Chiapas en 1948, posteriormente se establecieron otras plantaciones en los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche en años más recientes. Se reporta que las plantaciones en producción de Chiapas se ubican en las zonas de Tapachula, Palenque y Tonalá (SAGARPA, 2000).

A pesar de la poca investigación que se hace en palma de aceite en México, incluyendo la fertilización, existen algunos antecedentes en el estado de Chiapas. En un trabajo de fertilización para la zona costera, el rendimiento más alto (3.3 t ha<sup>-1</sup> de aceite) se obtuvo con dosis: 304.30 kg ha<sup>-1</sup> de N, 130.42 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato de calcio triple (SPCT) y 300.30 kg ha<sup>-1</sup> de Cloruro de Potasio (Cruz y Ramírez, 1984).

Pérez *et al.*, (2005) establecieron en Tabasco, un experimento para evaluar la fertilización mineral de NPK en palma de aceite, y encontraron rendimientos de racimos de fruto fresco (RFF) de hasta 19.9 t ha<sup>-1</sup>, asociado a la dosis 60-90-240, aunque estadísticamente no encontraron diferencias significativas entre 12 tratamientos estudiados.

Actualmente el estado de Chiapas es el principal productor de palma de aceite en México, con una superficie de 16,151.5 ha de las cuales 10,820.5 ya se encuentran en producción, con rendimientos medios de RFF de 18 t ha<sup>-1</sup> al año (COPLANTA, 2006). Sin embargo, aun cuando existe una superficie muy extensa no se han realizado estudios para determinar la dosis óptima de fertilización, y las deficiencias nutrimentales se hacen evidentes, ya que éstas retrasan el inicio de la producción y disminuyen los rendimientos de las plantaciones. Para generar recomendaciones sobre fertilización, mediante experimentos de campo en cultivos perennes, se requiere por lo menos cinco años para evaluar la respuesta de manera confiable.

Considerando lo anteriormente expuesto, el presente estudio se realizó con el objetivo de determinar la dosis de fertilización NPK para la palma de aceite en la zona norte de Chiapas.

## **2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### **2.1. Objetivos**

1. Evaluar el rendimiento de racimos de fruto fresco de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en respuesta a diferentes tratamientos de fertilización edáfica NPK.
2. Determinar el efecto sobre la concentración nutrimental NPK foliar, en ejemplares experimentales de palma de aceite sometidos a diferentes tratamientos de fertilización edáfica.

### **2.2. Hipótesis**

1. Los rendimientos de racimo de fruto fresco en el cultivo de palma de aceite se incrementan con la aplicación de dosis mayores de NPK.
2. Las concentraciones de NPK foliar aumentan con dosis crecientes de fertilización edáfica de estos nutrimentos.

### 3. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. Generalidades sobre la palma de aceite

La palma de aceite tiene su origen botánico en el continente africano, desde hace unos cuatro millones de años. Actualmente, se encuentra dispersa en forma espontánea y natural en los márgenes de los ríos y pantanos de agua dulce de la costa oeste de dicho continente. A pesar de las evidencias arqueológicas de su uso para obtener aceites comestibles por extracción manual, que tienen más de 5000 años, no fue sino hasta principios de siglo XX que se establecieron plantaciones con fines industriales en África y en el sureste de Asia, de ahí el cultivo se dispersó a todo el mundo (González *et al.*, 1999).

Actualmente los principales países productores son Malasia e Indonesia, mismos que dominan el comercio mundial con más del 50% del aceite de palma en el mundo (ANIAME, 2004). México es un productor emergente de este aceite, cuya superficie de cultivo se encuentra en plena expansión, con aproximadamente 29,276.77has (SIAP, 2007)

La palma es una planta perenne que pertenece a la familia Arecacea (Palmae) (Lorenzi *et al.*, 2004; Obando, 1999). El sistema radical es fasciculado, crece formando haces con gran desarrollo de raíces primarias, las cuales casi no tienen capacidad de absorción; las más activas en la absorción de agua y nutrientes del suelo son las secundarias, terciarias y cuaternarias (Raygada, 2005; Obando, 1999). El tallo se forma hasta el tercer año, cuando el ápice alcanza su diámetro máximo; después de esta etapa, no se presenta ningún incremento en diámetro (González *et al.*, 1999). Las hojas están compuestas por un eje central ligado a un pecíolo y el raquis que soporta los folíolos dispuestos en diferentes planos; esta irregularidad disposición de los folíolos marca una de las características distintivas de *Elaeis guineensis* (Oliveira, 2006). Las flores masculinas y femeninas se producen en la misma planta, las inflorescencias de la palma están protegidas por brácteas fibrosas; el periodo que comprende la floración y la maduración de frutos

varía de cinco a seis meses, los racimos se encuentran en las axilas de las hojas más bajas (Conceicao y Muller, 2000; González *et al.*, 1999).

## **3.2. El cultivo de la palma de aceite**

### **3.2.1. Importancia de la nutrición en la palma de aceite**

El objetivo de la fertilización en la producción de palma aceitera es suministrar suficientes nutrientes para promover un crecimiento vegetativo sano, máximo rendimiento de racimos de fruta fresca (RFF) y resistencia a plagas y enfermedades (Donough, 2008; INPOFOS, 2006). Las deficiencias nutrimentales retrasan el inicio de la producción y disminuyen los rendimientos del cultivo si éste no es capaz de extraer del suelo todos los nutrimentos que demanda el funcionamiento normal de la planta (Salgado *et al.*, 2000).

La aplicación de fertilizantes en palma aceitera es un factor clave que determina el nivel de rendimiento. No obstante, el segundo año de las palmas en el campo (cuando la producción comercial de racimos apenas inicia), marca la etapa de máxima absorción de algunos elementos vitales (Mutert, 1999).

### **3.2.2. Funciones del Nitrógeno (N) y síntomas de deficiencia**

**Funciones:** El N es un elemento esencial para el crecimiento de las palmas y para su fructificación (Hartley, 1977). La producción y número total de hojas por palma aumenta con la aplicación de N (Rosenquist, 1962; Corley y Mok, 1972). Warriar y Piggot (1973) observaron que el número y peso de racimos se incrementaron en campo con la aplicación de fertilizantes nitrogenados. La nutrición balanceada promueve el uso eficiente del N mediante la estimulación del crecimiento radical, lo que permite una mayor exploración del suelo. El N en combinación con otros nutrientes es usado por la planta para acumular los recursos nutritivos en el tronco

y para soportar y mantener un alto rendimiento durante la etapa productiva de la plantación (INPOFOS, 2006). Se requiere N para la formación de proteínas, síntesis de la clorofila y para la fabricación de compuestos orgánicos en la fotosíntesis. La falta de N y la consecuente reducción de la cantidad de clorofila impide el uso de la radiación solar y la producción de compuestos orgánicos (INPOFOS, 2006).

Está suficientemente demostrado que el N es el nutriente limitante más común para el crecimiento de este cultivo, razón por la que un suministro deficiente puede provocar notables descensos en la producción (Navarro y Navarro, 2003). También se ha establecido que entre mayor sea el contenido de N en la hoja, hasta cierto valor, más alto resulta el contenido de clorofila y, por tanto, aumenta la capacidad fotosintética en las plantas (Díaz, 2002).

La mayor proporción de N en la palma de aceite se encuentra en el contenido celular constituido por las proteínas del protoplasma, una menor proporción se encuentra en la pared celular donde predominan las celulosas, hemicelulosa y ligninas (Rodríguez, 1993)

**Deficiencias:** En palmas jóvenes el rango óptimo de concentración foliar es de 2.6-2.9 y la deficiencia se presenta con  $<2.50$  (Fairhurst y Hardter, 2003); esta se caracteriza por la apariencia pálida y el progresivo amarillamiento (clorosis) de los folíolos a lo largo del raquis de la hoja (ARAB, 2001; Broschat, 2005) y una reducción en el crecimiento (Uexkull, 1999). Estos síntomas no son tan evidentes en las hojas viejas como en las hojas superiores (jóvenes); donde los folíolos tienden a ser estrechos y cortos (Larez, 2003) con deficiencia en la concentración foliar  $<2.3$  y óptima de 2.4-2.8 (Fairhurst y Hardter, 2003). Sin embargo en áreas mal drenadas, y en donde existe competencia por este elemento con malezas, las hojas superiores pueden presentar un mayor grado de amarillamiento que las inferiores. También se observan deficiencias de este elemento en suelos de textura arenosa, en donde se produce pérdida de N por lavado (Durán, 1999). La



causa más común que origina deficiencias de N, en los suelos minerales tropicales, es la baja cantidad existente de este elemento (ARAB, 2001).

### **3.2.3. Funciones del Fósforo (P) y síntomas de deficiencia**

**Funciones:** Las primeras determinaciones que sugieren la esencialidad del P en la vida vegetal se remontan a 1834, año en el que Jean-Baptiste Boussingault inició sus célebres experiencias de campo (Navarro y Navarro, 2003). El P es un elemento esencial para el crecimiento general de la palma de aceite, es particularmente importante para el crecimiento de la raíz durante el establecimiento y desarrollo juvenil (Rankine y Fairhurst, 1999). Este elemento incrementa significativamente el número y peso del racimo de frutos, aunque la producción de inflorescencias masculinas es significativamente alta con una fertilización baja de fertilizantes fosforados (Mollegaard, 1971).

Navarro y Navarro (2003) señalan que el P se encuentra en todos los tejidos de la palma de aceite en una concentración variable, forma parte de moléculas energéticas como el ATP y de los nucleótidos que integran los ácidos nucleídos ADN y ARN, y contribuye al componente de la membrana celular, participando además en la transferencia de energía en la fotosíntesis. También Forde *et al.*, (1965) encontraron que la aplicación de P al suelo ayuda a incrementar su concentración en los tejidos.

**Deficiencias:** Normalmente no es fácil observar síntomas de deficiencias de este elemento en campo. El crecimiento en general es menor, notándose una reducción en la longitud de las hojas y en el diámetro del tronco, también podemos encontrar la presencia de tronco piramidal (Durán *et al.*, 1999; ARAB, 2001; Ramírez *et al.*, 2002). También se puede manifestar un pobre crecimiento de las raíces, con clorosis prematura de las hojas viejas (ARAB, 2001). Aunque una plantación puede tener un suelo muy bajo en P y exhibe los síntomas, es posible

(y a veces común) que el análisis foliar indique niveles de P normales de 0.16% siendo el rango óptimo 0.15-0.18 (Fairhurst y Hardter, 2003), y más altos (debido al efecto concentración de este elemento). Sin embargo, si unido al síntoma visual el análisis foliar indica que la palma es deficiente en P con niveles menores de 0.15%, es una fuerte confirmación del pobre estado del P en las palmas (Larez, 2003). Aunque Chan (1982) comenta que la deficiencia de P en la palma aceitera <0.14 (Fairhurst y Hardter., 2003), no produce síntomas claros en el follaje, pero con la presencia de troncos que se adelgazan con los años podría indicar una deficiencia crónica de P. Las causas de las deficiencias de P en este cultivo se debe más que nada a la baja disponibilidad del elemento en los suelos minerales tropicales (ARAB, 2001). También por la baja fertilidad del suelo y la degradación (Uexkull y Fairhurst, 1999).

#### **3.2.4. Funciones del Potasio (K) y síntomas de deficiencia**

**Funciones:** El K junto con el N, son los elementos que la palma de aceite necesita en mayor cantidad para asegurar su crecimiento vegetativo e incrementar las cosechas (Ollagnier y Olvin, 1984). Con la aplicación de K, Nair y Seedharan (1981) reportaron incrementos significativos del rendimiento de 15 t ha con 257,4 kg ha de Cloruro de Potasio en una plantación de ocho años. El K es importante para el adecuado funcionamiento estomático, por esta razón, las palmas deficientes en K son más susceptibles a la sequía (Mite *et al.*, 1999). El K ayuda en el transporte de los productos de la fotosíntesis, la activación de enzimas y la síntesis de aceite (Rankine y Fairhurst., 1999) y también es un regulador del proceso de la ósmosis (Mengel y Kirkby, 2000).

Es difícil predecir la respuesta a la aplicación de K basándose solamente en el contenido de K intercambiable en el suelo. Mollegaard (1971) encontró que la aplicación excesiva de K incrementa la producción de flores masculinas y disminuye la de flores femeninas. El K tiene un efecto positivo en el tamaño y número de racimos y es un factor importante en la resistencia de la planta a

enfermedades. El K es generalmente el factor nutricional más importante en la formación del rendimiento (INPOFOS, 2006).

El  $K^+$  es el catión más importante no solamente por su contenido en los tejidos de la palma de aceite, sino también por su participación en funciones fisiológicas y bioquímicas (Mutert, 1998). También participa en el crecimiento de los tejidos meristemáticos y es de destacada importancia en el control del agua en la planta. Se ha demostrado un claro efecto en la tasa de asimilación de  $CO_2$  cuando el  $K^+$  es suministrado. La principal función bioquímica del  $K^+$  es la activación de varios sistemas enzimáticos. Díaz (2002), comenta que este nutriente es un estimulante de la movilización de fotosintatos desde la zona productora hacia los tejidos conductores y su presencia acelera la velocidad del flujo de esos compuestos.

**Deficiencias:** Un síntoma común de deficiencia de K es el amarillamiento medio de la corona, en donde una o más hojas de la mitad de la corona, desarrollan una coloración amarilla muy intensa que se inicia a partir del ápice. Las hojas más jóvenes son más cortas de lo normal, y las inferiores toman una coloración amarillenta y se secan prematuramente (Broschat, 1994). El síntoma más común de deficiencia de K son las manchas anaranjadas (moteado) que se inician con el desarrollo de puntos irregulares de color amarillo pálido en los folíolos de las hojas viejas, finalmente estos puntos se juntan y se vuelven necróticos (Mutert, 1998). Eventualmente, se desarrolla necrosis marginal en la parte distal de las hojas. Las deficiencias por K son visualmente identificable (ARAB, 2001). Es evidente la deficiencia de K que conlleva a un progresivo declive en el rendimiento y la salud de la palma. Una plantación puede tener muy bajo K intercambiable en el suelo y exhibir los síntomas de deficiencia de K, pero el análisis foliar puede indicar niveles normales de K de 1.0% o más (debido al efecto concentración). No es lo observado en este estudio, sin embargo, sí el análisis foliar también indica que la palma es deficiente en K con niveles menores de 0.90%, es una fuerte confirmación del pobre estado del K en las palmas (Larez, 2003). Las causas que originan las deficiencias ocurren comúnmente en suelos que tienen muy bajas

reservas de K y debido a un desbalance con otros elementos (Von Uexkull y Fairhurst, 1999). La deficiencia de K es común, ya que es un elemento móvil en la hoja y se pierde en épocas de lluvia intensa (Tarmizi y Mohd, 2006). La deficiencia de K se asocia con la presencia de secamiento vascular, cercospora, pudrición basal del tallo y otros desordenes fisiológicos que afectan a las palmas (Broschat, 1984).

### **3.2.5. Absorción NPK por la palma de aceite**

Las principales regiones de absorción de nutrimentos en la palma de aceite se encuentran en los extremos de las raíces primarias, secundarias y terciarias, y a lo largo de la longitud total de las cuaternarias. La mayor absorción mineral tiene lugar en los primeros 20 a 30 cm de profundidad del suelo (Taillez, 1971); Hartley (1983), señala que la mayor proporción de raíces absorbentes se presenta en los primeros 30 cm de profundidad. Una plantación de palma de aceite bien manejada está en condiciones de absorber todos los nutrientes necesarios para acumular la mayor cantidad de materia seca y producir el mayor rendimiento de RFF. Los requerimientos nutrimentales en la palma de aceite se categorizan en el siguiente orden:  $K > N > Mg > P > Ca$  (Mite *et al.*, 2002).

**Nitrógeno.** El cultivo de la palma de aceite absorbe el N principalmente como  $NO_3^-$  y  $NH_4^+$ . Las plantas pueden utilizar ambas formas; aunque algunas presentan una ligera preferencia por una u otra, esto no tiene gran importancia desde el punto de vista de la fertilización. Según Rodríguez (1982), la forma de ion  $NO_3^-$  es la más utilizada por la palma de aceite, pero en suelos con exceso de humedad la forma amoniacal supera a la nítrica. El catión  $NH_4^+$  es otra forma importante de absorción; cuando el amoniaco está disuelto en agua recibe un protón ( $H^+$ ) cargándose positivamente. Además, el Catión  $NH_4^+$  forma parte de todas las sales amoniacales, sin embargo en los suelos ácidos los efectos de pérdida son rápidos. La aplicación de cloruro de amonio aumenta significativamente los contenidos de

cloro y nitrógeno en la hoja y el rendimiento, pero existen pérdidas fuertes de N (Akbar *et al.*, 1976). Rahman (2004) encontró que la aplicación de sulfato de amonio provoca pérdidas altas de N ya que es muy volátil e incrementa la acidez del suelo. En los trópicos es común la concentración alta de nitrato inmediatamente en la zona de la raíz (Warren y Kihanda., 2001)

**Fósforo.** La nutrición fosforada de la palma de aceite se realiza a partir de los iones del ácido orto-fosfórico, principalmente se absorbe como ion orto-fosfato primario  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , seguido del ion orto-fosfato secundario  $\text{HPO}_4^{2-}$  (Fundora *et al.*, 1983). También hay una absorción muy pequeña de otras formas como el pirofosfato, meta-fosfato y otros compuestos orgánicos. La mayor absorción de los fosfatos por parte de las plantas depende de los siguientes factores:

1. Capacidad solubilizadora de las raíces. Las raíces excretan permanentemente, por sus funciones metabólicas, bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) a la solución edáfica, que solubiliza distintos compuestos de las partículas del suelo, mediante la formación de ácido carbónico en la solución ya que éste tiene un poder disolvente.
2. Tamaño de la raíz. Un sistema radical desarrollado permite una mayor extracción de nutrientes, principalmente de aquellos poco móviles.
3. Capacidad de absorción. El cultivo de la palma de aceite tiene una mayor capacidad para la absorción de los fosfatos de calcio que otras especies; las especies exigentes en calcio extraen mucho de este elemento del suelo provocando indirectamente una mayor solubilización de los fosfatos (Rodríguez, 1982). Sin embargo la palma de aceite es un eficiente extractor de P del suelo incluso en la roca fosfórica y en suelos ácidos (ARAB, 2001)

**Potasio.** La palma de aceite absorbe este nutrimento como  $\text{K}^+$ . Poco se conoce del mecanismo de absorción activa del K: se han encontrado péptidos cálcicos que son aptos para unirse específicamente a cationes alcalinos, principalmente al K (Fundora *et al.*, 1983). El K es absorbido por las raíces primarias en la palma de

aceite en forma de cationes a partir de la solución del suelo. La absorción en el suelo está relacionada a la concentración de otros cationes, como el magnesio ( $Mg^{2+}$ ), por problemas de competencia entre iones, en la cual son absorbidos con mayor facilidad y velocidad los cationes que tienen una sola carga positiva que los que tienen mayor cantidad (Rodríguez, 1982). La palma de aceite toma agua del suelo y esta acción de bombeo permite que los iones K disueltos en el agua sean transportados hacia la raíz; este proceso se denomina flujo de masas. En general, entre el 40 al 50% de K llega a la palma por este proceso. El resto del requerimiento de K debe llegar a la raíz por difusión, que mueve el K en la solución del suelo de las áreas de mayor a las de menor concentración (Mengel y Kirkby 2000)

### **3.3. Los nutrimentos en la palma de aceite**

#### **3.3.1. Interacciones nutrimentales**

Un aumento en la aplicación de N permite obtener una tasa de emisión foliar más alta y un mayor número de hojas funcionales en la corona (Nair y Sreedharan, 1983). La aplicación de N aumenta los contenidos foliares de P y K. La concentración de P foliar también se relaciona fuertemente con el número de hojas funcionales, número de inflorescencias femeninas, número y peso de racimos. La nutrición con P favorece en la palma africana la absorción de grandes cantidades de otros elementos minerales que juegan un importante papel en el rendimiento, ya que éste tiene mucha influencia sobre los caracteres morfológicos y la producción de inflorescencias (Nair y Sreedharan, 1983).

Mite *et al*, (2002) en un experimento con fertilizantes en Malasia, evaluaron N solo así como una mezcla de NPK. En sus resultados encontraron rendimientos diferentes; con la aplicación de N solo obtuvieron  $70.1 \text{ t ha}^{-1}$  de RFF pero al incluir N, P y K el rendimiento se incrementó a  $89.7 \text{ t ha}^{-1}$ .

El contenido de K foliar presenta una correlación positiva con el número de hojas funcionales, número y peso de racimos, también se han encontrado efectos positivos de la fertilización potásica sobre el crecimiento (Nair y Sreedharan, 1983). El incremento en las dosis de K en presencia de N causó un claro efecto sinérgico en la intercepción de la radiación fotosintética. En consecuencia afectó positivamente la eficiencia de la conversión de la energía interceptada en materia seca, la misma producción de materia seca y la relación del peso seco de los racimos con la materia seca total (Mutert, 1998). También se han reportado interacciones positivas entre el K y las prácticas culturales como la aplicación de materia orgánica y frecuencia de la aplicación del K, incrementando los rendimientos en 4 a 14% (Chan *et al.*, 1993) y por otro lado, se ha demostrado que altas dosis de K inhiben la absorción de magnesio (Mg) y boro (B) que pueden reducir el rendimiento.

Se ha observado que la correlación entre el contenido de N + P en la hoja, con el rendimiento y caracteres morfológicos, es mucho mayor a la del N y P por separado. Esto demuestra que los efectos de la combinación de dos o más nutrimentos tienen efectos positivos al suministrar varios minerales a la palma (Nair y Sreedharan, 1983).

La interdependencia del N y el P en la nutrición puede ser expresada por una interacción positiva de los dos nutrimentos en el rendimiento. La falta de efecto del fósforo solo es completamente explicada si hace referencia a la relación N/P. En campo, por consiguiente, es necesaria la aplicación de fertilizante nitrogenado si el N foliar es más bajo que el nivel crítico y proseguir con la fertilización fosfatada si la relación N/P aumenta a más de 16 (Akbar, *et al.*, 1976). Con la interacción de NP y PK existe un efecto favorable en la producción de hojas y rendimiento en la palma de aceite (Tan, 1973). Por su parte Chan y Rajaratman (1976) encontraron que el Mg es necesario para un buen aprovechamiento del N y K en el rendimiento. Al contrario Hartley (1977) observó que al nutrir a la palma con grandes cantidades de K éste incrementa la concentración en la hoja, pero

produce un efecto antagónico en Ca y Mg. Green (1972) obtuvo respuestas al P y K en suelos lateríticos, con interacciones del P\*K con incremento del rendimiento por N y Mg.

Un desbalance en la cantidad de N, K y B provoca desórdenes fisiológicos que dan como resultado deficiencias de K, produciendo síntomas como la raya blanca y manchas anaranjadas (Von Uexkull y Fairhurst, 1999). La fertilización balanceada de N-P-K-Mg, es necesaria para una óptima formación de clorofila y crecimiento continuo de la palma. Debido al sinergismo de la absorción entre el N y P, la concentración de P en la hoja debe ser evaluada en relación a la concentración de N en hoja (Ollagnier y Ochs, 1981).

La fertilización balanceada con N, P y K conforma la remoción de nutrientes, análisis de hojas y de suelo, es necesaria para mejorar el rendimiento de RFF en palma de aceite (Tarmizi, 2006).

### **3.3.2. Demanda nutrimental**

La demanda nutrimental en el cultivo de la palma de aceite es muy variable; depende principalmente del potencial de rendimiento (el cual está determinado genéticamente por el material de plantación) y del potencial de producción (definido por los factores climáticos de la localidad como disponibilidad de agua, radiación solar efectiva y temperatura). La respuesta más común a la mayor parte de los factores adversos es la reducción en la producción de frutos, pero el crecimiento vegetativo también es afectado (IFA, 1992; Duran *et al.*, 1999).

La descomposición de los residuos resulta en la mineralización de los nutrientes orgánicos a formas inorgánicas, pero al mismo tiempo estos elementos inorgánicos son inmovilizados en los tejidos microbiales (Rodríguez, 1993; Stevenson, 1992), parte de los nutrimentos extraídos en la cosecha pueden ser



retornados a la plantación junto con el raquis; Mutert (1998), reporta que 30 t ha<sup>-1</sup> de raquis de los racimos contienen K en cantidades que varían entre 120 y 180 kg de KCl.

En general, una población de 143 palmas de aceite por hectárea absorben del suelo entre 300 y 600 kg de los elementos nutritivos mayores (Hartley, 1998). La condición nutrimental, debe ser óptima si desea alcanzar rendimientos cercanos a los máximos posibles. Tal condición se logra mediante la aplicación de un plan de fertilización cuya formulación impone ciertas reglas. La primera, es dominar los conceptos teóricos de la nutrición y regulación del crecimiento del cultivo de la palma de aceite y, la segunda, conocer en profundidad los aspectos de producción relativos al sistema en particular, los referentes a la tecnología del uso de los fertilizantes y el agua (Kamara, 2001).

Los nutrientes son removidos continuamente con la cosecha de RFF, por lo que hay que reponerlos al suelo para mantener un rendimiento estable, porque así se pueden obtener más ganancias en el mediano plazo, lo cual se logra con la aplicación balanceada de los fertilizantes (Tarmizi y Mohd, 2006).

Generalmente los raquis del racimo contienen 0.80% de N; 0.22% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, y 2.90% de K<sub>2</sub>O en peso seco (Hamdan *et al.*, 1998). Los nutrientes contenidos en los residuos de la palma aceitera deben reciclarse para conservar nutrientes. Los raquis, las hojas podadas y los efluentes de las fábricas extractoras de aceite son fuentes de nutrientes, pero su valor real es el aporte de materia orgánica al suelo (Duran *et al.*, 1999). Las hojas removidas anualmente en una hectárea durante la cosecha y la poda contienen alrededor de 125 kg de N, 23 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 176 kg de K<sub>2</sub>O. Un rendimiento de 25 t ha<sup>-1</sup> de RFF produce alrededor de 5 t de raquis, y se recomienda aplicar 30 t de raquis por hectárea, esto se puede aplicar cada 6 años (INPOFOS, 2006).

En una hectárea de palma de aceite (de cuatro años), el crecimiento y desarrollo del tallo y raíz inmovilizan en un año; 22 kg de N, 2.3 kg de P y 43.5 kg de K (Tarmizi y Mohd, 2006). El requerimiento de potasio, durante la fase inmadura de las plantas es el más alto de los nutrientes mayores primarios y tienden a estabilizarse solamente después del quinto año (Mutert, 1998).

Mite *et al*, (2002) observaron una interacción significativa positiva con la aplicación de fertilizantes y el peso de los RFF; el peso de los racimos se vio reflejado en el rendimiento total acumulado después de 9 años. El tronco es el sitio donde se acumulan los nutrientes durante la etapa inmadura de la palma. Luego, cuando se inicia la cosecha, el tronco representa un tampón que equilibra la remoción en los RFF cosechados con la disponibilidad y suplemento temporal de nutrientes en el suelo. Con la nutrición se pueden sostener rendimientos altos en el tiempo ya que la palma puede soportar condiciones de estrés sin cambiar de fase productiva a vegetativa.

El N por la cantidad que demanda es el segundo elemento más importante para la palma de aceite. Una hectárea de palma de aceite puede llegar a acumular cerca de 568.6 kg de N en los tejidos vivos de las palmas (Vieira *et al*, 2006). El contenido estimado de nutrientes en 30 t ha<sup>-1</sup> por año de RFF es de 97.6 kg de N, 10.0 kg de P y 105.4 kg de K.

### 3.3.3. Concentración nutrimental en hojas

Las metodologías para conocer las demandas y deficiencias nutrimentales en la palma de aceite han establecido como base el análisis foliar (Fairhurst y Hardter, 2003). En general, se considera que la concentración de los nutrimentos, expresados como porcentaje de materia seca a nivel de hoja, es un indicador adecuado para conocer el estado nutrimental de toda la planta (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Intervalos críticos de concentración foliar de nutrimentos en palma de aceite (% de materia seca)**

Edad	Nivel	N	P	K
Hasta 6 años	Deficiente	<2.5	<0.15	<1.0
	Optimo	2.6-2.9	0.16-0.19	1.1-1.3
	Excesivo	>3.1	>0.25	>1.8
Más de 6 años	Deficiente	<2.3	<0.14	<0.75
	Optimo	2.4-2.8	0.15-0.18	0.9-1.2
	Excesivo	>3.0	>0.25	>1.6

(Fairhurst y Hardter, 2003)

En un experimento con palma de aceite, realizado en Ecuador, en el que se suministraron los nutrientes N, P, K, Mg, S, Ca, se encontraron diferencias significativas. Así, en el testigo se obtuvieron 70.1 t ha<sup>-1</sup>, siendo este el rendimiento más bajo. A medida que se adicionó un nuevo elemento en la fertilización, los rendimientos se incrementaron, llegándose a obtener un máximo de 89.7 t ha<sup>-1</sup>. La tendencia general indica que conforme las plantas comienzan a producir racimos, la concentración de nutrientes foliares disminuye, debido a una competencia interna entre órganos de la planta. Otra conclusión resultante fue que, mientras más completa es la fertilización al suelo, mayor es la concentración de nutrientes en las hojas (Mite *et al.*, 1999).

### 3.4. Requerimientos climáticos

Bajo condiciones de temporal, la palma de aceite crece en forma excelente en regiones climáticas Af y Am, que corresponden a climas de selva tropical lluviosa y monzónicas

**La temperatura.** Tiene efectos marcados sobre el número de hojas emitidas, racimos producidos y contenido de aceite en fruto (Barcelos *et al.*, 1995). Según Raygada (2005) la temperatura media anual óptima para la palma de aceite, está comprendida entre 22 y 32° C, este intervalo de temperatura coincide por lo general con las tierras de los trópicos húmedos localizadas a altitudes menores de 500 msnm. Parece que la producción anual de hojas adultas aumenta con una temperatura media anual de 25 a 27°C. Las plantaciones con producción alta se ubican en regiones con menor variación anual de temperaturas media mensuales (Goncalvez, 2001). Según este autor las bajas temperaturas pueden aumentar el aborto de inflorescencias antes de la antesis, así como influir en la disminución y maduración de los racimos. Macedo y Rodríguez (2000) indica que temperaturas de 15°C durante varios días provocan la detención del crecimiento de las plántulas y disminuye también la producción de las palmas adultas. Cuando se presentan altas temperaturas puede haber efectos opuestos.

**Luz.** El rendimiento de la palma de aceite depende básicamente de la eficiencia de las etapas sucesivas de conversión de energía solar en el producto económico que es el aceite (Mutert, 1998). La luminosidad también es un aspecto importante, y se requieren de por lo menos 5 h diarias de sol durante todos los meses del año, aproximadamente 1800 h al año, siendo los límites inferiores de 1500 h (Hartley, 1998; Goncalves, 2001). Wood y Corley (1991) indicaron que la palma aceitera es una de las especies más eficientes en el uso de la energía luminosa y producción de biomasa.

La insolación, como reflejo de la radiación solar incidente, es considerada por Bastos (2000) un factor climático de extrema importancia en la producción de RFF,

visto que la insolación y la radiación solar están asociadas a la productividad del cultivo en el proceso de fotosíntesis, y también está relacionada a la maduración de racimos y contenido de aceite en los frutos. La palma de aceite presenta una relación Ingreso: Salida de 1:9.5 en su balance anual de energía y es muy superior al balance de otros cultivos que producen aceite. Por lo antes mencionado se infiere que la palma aceitera podría ser la fuente de energía renovable más importante de los trópicos (Mutert, 1998).

**Humedad relativa y precipitación.** Según Surre *et al* (1969), las necesidades medias mensuales de humedad relativa para la palma de aceite son de 75 a 90%, una pluviosidad de 2,000 mm año<sup>-1</sup>, bien distribuida sin periodos de déficit hídrico. Bastos *et al* (2001) determinaron que las mejores zonas para este cultivo deben tener precipitaciones mensuales por arriba de 100 mm, y humedad relativa de 80 a 90%. Existe una relación estrecha entre la precipitación y el crecimiento de la palma y su rendimiento (Ochs *et al.*, 1976). El régimen hídrico es uno de los principales factores que afectan el desarrollo de la palma de aceite pues, variaciones pluviométricas anuales se reflejan en la sexualidad de inflorescencias y en producción de racimos en intervalo de 28 meses, afectan la emisión foliar, número y peso medio de racimos (Bastos, 2000).

**Balance hídrico.** La palma de aceite es considerada una especie de gran capacidad de sobrevivencia en periodos secos, debido a su sistema estomático eficiente y su capacidad de reducir el área foliar en situaciones de estrés hídrico. Así mismo este mecanismo representa una restricción para la fotosíntesis y la movilización de fotoasimilados a los órganos reproductivos, resultando en una disminución en la productividad (Goncalves, 2001). El agua constituye el factor más limitante para la producción, ya que controla la temperatura interna, participa en los procesos bioquímicos, incluyendo la fotosíntesis, es un solvente que permite la absorción y transporte de nutrimentos del suelo, transporta productos de la fotosíntesis y procesos metabólicos y es constituyente esencial del soporte de los tejidos celulares (Barrios *et al.*, 2003).

### 3.5. Los suelos para plantaciones de palma de aceite

#### 3.5.1. Requerimientos edáficos

Después del clima, el suelo es el que determina la producción, sobre todo en las regiones donde el clima no representa en sí mismo limitaciones al cultivo (Oliveira, 2006). Los palmares semi-silvestres, al igual que las plantaciones comerciales, se encuentran creciendo en una amplia gama de suelos, lo que indica que la palma de aceite no es un cultivo exigente en este aspecto (Macedo y Rodríguez, 2000) pero es sensible a pH altos (>7.5) y a la saturación de agua. El suelo donde crecen las palmas de aceite almacena agua, proporciona nutrimentos y soporte mecánico (Kamara, 2001). El suelo es “un cuerpo natural que se encuentra sobre la “superficie de la corteza terrestre, conteniendo materia viva y soportando o siendo capaz de soportar plantas” (Ortiz y Ortiz, 1987); por su parte Porta *et al.* (2003) indican que el suelo “es un cuerpo natural tridimensional, que forma parte de un ecosistema, mismo que queda delimitado en su parte superior por la superficie del terreno, su límite inferior se considera la profundidad a partir de la cual las características son constantes”. En el Cuadro 3 se pueden observar las características de los suelos para palma de aceite.

**Cuadro 3. Características de los suelos recomendados para el cultivo de la palma de aceite, en el mundo.**

Propiedad	Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
pH	<3,5	4,0	4,2	5,5	>5,5
CO (%)	<0,8	1,2	1,5	2,5	>2,5
N Total (%)	<0,8	0,12	0,15	0,25	>0,25
P(ppm)	<5	10	15	20	>30
K*	<0,1	0,20	0,25	0,30	>0,5
Ca*	<0,3	0,5	0,75	1,00	>1,5
Mg*	<0,1	0,20	0,25	0,30	>0,5

\*meq/100g Fuente: Larez, 2003.

El suelo tiene diferentes usos, de acuerdo con sus características y el tipo de cultivo, entonces, para poder clasificar el suelo por su capacidad de uso (agrícola, pecuario o forestal) y potenciar el uso del mismo para un cultivo o plantación específica, como es la palma de aceite, es necesario tener en cuenta las diferentes clases (Palma-López *et al.*, 2007), así, por ejemplo, un suelo profundo pero con una pendiente de 45% perteneciente a la Clase VII de acuerdo con su capacidad de uso, podría ser, potencialmente apto para uso pecuario-forestal pero no para la palma de aceite. No obstante la capacidad de uso debe considerar otros aspectos como el económico y la sustentabilidad.

Las propiedades físicas del suelo tales como profundidad, textura y estructura son factores importantes en la determinación de suelos aptos, por tiempos largos, para plantaciones de palma de aceite (Macedo y Rodríguez, 2000). La fertilidad natural de los suelos influenciada por las características físicas, puede contribuir de modo significativo en el aumento de rendimientos y mejor utilización de los fertilizantes en la palma (Peralta *et al.*, 1985). En un estudio realizado en tres tipos de suelos ácidos que incluyó una correlación con el rendimiento, y análisis de pH, carbono orgánico, P-Bray II e intercambio K; se encontró que en pH altos, la concentración de carbono orgánico, NPK y el rendimiento son bajos (Mutert, 1999). Las características químicas del suelo son importantes en cualquier cultivo. En el caso de la palma, las necesidades de aplicación de fertilizantes, es mayor cuando los suelos tienen bajo nivel de fertilidad no obstante las plantas se adaptan bien a suelos ácidos y tienen buen desarrollo con pH de 4 a 6 (Rodríguez, 1993; Van der Vossen, 1970).

El suelo es un sistema dinámico en donde la distribución y arreglo de sus componentes junto con los procesos bióticos y las entradas y salida de agua, son determinantes para el funcionamiento de este cultivo (Porta *et al.*, 2003), su estudio, también permite determinar la presencia de factores limitativos para los cultivos y a partir de éstos establecer estrategias de manejo (Hart, 1985). La

palma de aceite se cultiva en las tierras bajas de los trópicos húmedos (en latitudes comprendidas entre 15° N a 15° S) con precipitaciones de 1,800 a 5,000 mm por año, no siempre distribuidos uniformemente (Mutert, 1998).

### **3.5.2. Aptitud de suelos para palma de aceite**

La palma de aceite es un cultivo predominante en suelos tropicales, principalmente en los órdenes Ultisol, Oxisol e Inceptisol. Estos suelos son muy ácidos y tienen baja capacidad de intercambio catiónico. Consecuentemente, la fertilización es esencial para obtener una producción rentable (NG, 2002). Se ha demostrado consistentemente la respuesta a la aplicación de fertilizantes en numerosos experimentos en Malasia, donde se lograron altos rendimientos de RFF en suelos Inceptisoles, Ultisoles y Oxisoles (Kee y Goh, 2006; Tarmizi *et al.*, 1992).

Palma-López *et al* (1999), en un estudio sobre tipos de suelo para el cultivo de la palma de aceite, señala que son aptos los Fluvisoles éútricos (Fle), Luvisoles crómicos (LVx), Luvisoles háplicos (LVh), Cambisoles crómicos (CMx), y los moderadamente aptos: Acrisoles húmicos (Acu), Acrisoles plínticos (ACp), Vertisoles éútricos (VRe), Ferrasoles ródicos (FRr), Acrisoles férricos (ACf), Cambisoles vérticos (CMv), Fluvisoles gleyi-eútricos (Fleg). También se puede clasificar la aptitud del suelo para el cultivo de palma de aceite según sus propiedades físicas (Cuadro 4).



**Cuadro 4. Clase de aptitud de tierras para cultivo de palma de aceite, según las propiedades del suelo.**

Clase de aptitud Limitación	Apta		Moderada	Marginal Severa	No apta Muy severa
	Ninguna	Ligera			
Textura	FR	FR,FRL	FRA,AF	RL,R	AR
Prof. Efectiva (cm)	>100	75-100	50-75	25-50	<25
Espesor capa orgánica (gr m <sup>3</sup> )	-	0-50	50-200	200-300	>300

(Modificada de Raygada, 2005). R = Arcilla; A = Arena; F = Franco; L = Limo

### Suelos aptos

En suelos de buena fertilidad, los cuales son los más recomendables para la producción de palma de aceite, no se observan respuestas claras a la fertilización NPK ya que tienen un nivel elevado de nutrientes asimilables. En una localidad se realizaron dos experimentos con diferentes suelos, los resultados demuestran que la palma de aceite puede producir hasta 5 toneladas de aceite ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en suelos fértiles, y hasta 3 toneladas de aceite ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en suelos menos fértiles y de textura pesada (FONAIAP, 1983).

Los suelos volcánicos, situados en regiones con buen clima, son los que permiten las producciones más altas. Los suelos de aluvión son también excelentes para la producción sobre todo si tienen una capa freática accesible a las raíces, la cual sea posible controlar continuamente. Los suelos ferralíticos presentan una aptitud para el cultivo muy variable, dependiendo sobre todo de las características físicas particulares y de si los suelos son orgánicos y turbosos.

### Suelos moderadamente aptos

Las áreas con algunas limitaciones de suelo, textura pesada y mal drenaje, al corregirlas pueden ser incorporadas a la producción (FONAIAP, 1983). Sin embargo, el rango de suelos derivados de rocas ígneas, metamórficas y cenizas volcánicas son comúnmente plantados con palma de aceite en el sureste de Asia y los suelos derivados de granitos y sedimentos del pleistoceno y suelos de turbas profundos todos de muy baja fertilidad son plantados en un área expandida en el sur de Asia con resultados favorables en la producción de RFF (Mutert, 1999). En México, según Palma-López *et al.*, (1999) estos suelos corresponden a: Acrisoles húmicos (ACu), Acrisoles plúnticos (ACp), Vertisol eútrico (VRe), Ferralsoles ródicos (FRr), Acrisoles férricos (ACf), Cambisoles vérticos (CMv) Fluvisoles gleyi-eútricos (FLeg).

### **Suelos no aptos**

Los suelos no aptos para palma de aceite, incluyen limitantes demasiado fuertes que no se pueden resolver debido a costos excesivos, los problemas pueden ser: inundaciones durante la mayor parte del año, lenta permeabilidad, poca profundidad y presencia de roca madre calcárea o capa cementante, baja fertilidad, alta permeabilidad y topografía cerril (Palma-López *et al.*, 1999). Dentro de los suelos no aptos podemos encontrar los tipos: Histosoles fíbricos (HSf), Leptosoles réndzicos (LPk), Solonchaks gléyicos (SCg), Gleysoles mólicos (GLm), Gleysoles eútricos (GLE), Gleysoles dístricos (GLd), Plintosoles eútricos (PTE), Arenosoles háplicos (ARh) y Arenosol lúvico (ARI) (Palma-López *et al.*, 1999).

### **3.5.3. El Nitrógeno del suelo**

Bajo condiciones naturales, el N del suelo no proviene de la degradación de la roca madre. Todo el que normalmente se encuentra en él deriva, en última instancia, del que existe en la atmósfera terrestre a través de los distintos procesos de fijación, fundamentalmente de tipo biológico (Navarro y Navarro, 2003).

Según (Navarro y Navarro, 2003). El nitrógeno en el suelo se halla en formas orgánicas. Cuando se añade N-fertilizante, la eficiencia de la fertilización nitrogenada y la disponibilidad de N para la palma serán afectadas por la importancia de la relación mineralización-inmovilización del N por los microorganismos (Porta *et al.*, 2003).

Además del N orgánico en los residuos de cosecha, el N inorgánico aportado por la fertilización nitrogenada constituye otra entrada de N orgánico. Alrededor de un 5% del N de la fertilización nitrogenada es inmovilizada en la biomasa microbiana y un 15% de los productos microbiales estabilizados o protegidos en la matriz del suelo. Los tres componentes; *pool* de N orgánico lábil (PNL); el *pool* de N orgánico estabilizado (PNE); y el *pool* de N inorgánico (PNI) conforman el sistema de N activo del suelo. El N orgánico humificado o *pool* pasivo, es un material complejo, muy consolidado lentamente atacable por la microflora del suelo (Rodríguez, 1993).

Trabajos de fertilización realizados en suelos de origen diferente presentan comportamientos opuestos al aporte de fertilizantes químicos. Ollagnier *et al.*, (1984) encontraron en un estudio de 8 años de duración, en suelos ferralíticos de África occidental (Costa de Marfil, Benín, Nigeria y Camerún), que la respuesta de los fertilizantes nitrogenados es nula, mientras que en los suelos volcánicos de Indonesia alcanzan hasta 4 ton ha<sup>-1</sup> de RFF en palmas de 13 y 21 años de edad.

#### **3.5.4. El Fósforo del suelo**

Este elemento procede sólo de la descomposición de la roca madre durante el proceso de meteorización. Su contenido, pequeño en las rocas primitivas o sedimentarias, es notablemente más elevado en las rocas volcánicas, las cuales constituyen la fuente original del P, y en donde se le encuentra sobre todo como inclusiones apatitas (Navarro y Navarro, 2003).

Según Teuscher y Adler, 1979. La sustancia madre y al mismo tiempo, la fuente original de todos los fosfatos que se presentan en la naturaleza es el mineral apatita. La química del P en el suelo es compleja y está influenciada por muchos factores y esto hace difícil la interpretación de los análisis de suelo. La cantidad de P disponible en el suelo depende del método utilizado en el laboratorio para extraer el elemento de la muestra. Por esta razón, no se deben comparar resultados de análisis de P hechos con diferentes métodos (INPOFOS, 2006).

Los componentes del sistema del P en el suelo desde el punto de vista de la nutrición vegetal son el P de la solución, el P lábil y el P no lábil. El P lábil es el adsorbido en la superficie de la fase sólida del suelo en equilibrio con el P de la solución; el P no lábil corresponde al anión fosfato que ha penetrado y ha quedado adsorbido en el interior de las partículas de arcilla o de los óxidos de Fe. El P no lábil tiende a una relación de equilibrio con el P lábil, pero no con el P de la solución del suelo (Rodríguez, 1993).

Los diagnósticos de hoja realizados en plantaciones comerciales muestran deficiencias en estos elementos, los cuales prevalecen en suelos de origen liparítico y aluvial, suelos hidromórficos, a pesar de tener buen contenido de N total en el horizonte superficial (A1, P2); en la mayoría de los casos acompañado por deficiencias de P (Akbar et al., 1976). El contenido de P extractable del suelo varía de 5-6 kg ha<sup>-1</sup> en una parcela no fertilizada, y en una parcela fertilizada aumenta el contenido de P a 286 kg ha<sup>-1</sup> (Walker y Melsted, 1971).

Ollagnier *et al*, (1984) encontraron que los rendimientos en suelos ferralíticos eran menores en comparación con los suelos volcánicos de indonesia, que existen diferencias en la fertilidad de los mismos, y por lo tanto se deben de tomar en cuenta los niveles de P en el suelo y la capacidad de fijación, para comprender las características del suelo con relación a los fosfatos.

### 3.5.5. El Potasio del suelo

El K presente en los suelos aparece por desintegración y descomposición de las rocas que contienen minerales potásicos. Los minerales que se consideran generalmente como fuentes originales de K son los feldespatos potásicos. También lo podemos encontrar bajo la forma de otros minerales como silvina, carnalita, kainita y en las ilitas, vermiculitas, cloritas (Navarro y Navarro, 2003). El K es muy común en la naturaleza, nunca se encuentra libre en su forma elemental, sino más bien al estado de combinación en los granitos, gneises y la mayoría de las rocas ígneas (Teuscher y Adler, 1979).

Los componentes del sistema del K en el suelo desde el punto de vista de la nutrición de la palma de aceite, son el K de la solución, el K intercambiable y el K no intercambiable. El K de la solución corresponde al K que se encuentra como ión libre en la solución del suelo, el cual satisface los requerimientos nutricionales. Este K se encuentra en equilibrio con el K intercambiable. El cual se encuentra principalmente retenido electrostáticamente en las arcillas neutralizando las cargas negativas. El K no intercambiable es el extraído con  $\text{HNO}_3$  1N en ebullición (Rodríguez, 1993).

En muchos suelos, especialmente los arenosos y de turba, la falta de K es el factor más limitante en el rendimiento de la palma de aceite (Mutert, 1998). El contenido de K extractable del suelo varía de  $73\text{kg ha}^{-1}$  en una parcela no fertilizada con K; en tanto que en una parcela fertilizada aumenta a  $267\text{kg ha}^{-1}$  (Walker y Melsted, 1971). La respuesta a la fertilización potásica comúnmente es muy variable, y esto depende de las condiciones particulares del suelo (Ollagnier *et al.*, 1984). La aplicación de KCl en suelos aluviales presenta características diferentes y debido a la constitución de depósitos superpuestos de diferente naturaleza. Mientras que en suelos volcánicos el fertilizante potásico eleva

ligeramente el contenido de iones K en la solución, pero el aumento de RFF no es siempre significativo (Ollagnier *et al.*, 1984).

### **3.6. Antecedentes de la fertilización NPK en palma de aceite en de México**

Los experimentos formales para determinar las mejores fórmulas de fertilización en palma de aceite en México son realmente escasos. Al respecto, en la literatura sólo se encuentran reportes sobre dos trabajos. Cruz y Ramírez, (1984) realizaron un experimento con fertilizantes NPK en el Soconusco Chiapas evaluando varias dosis de N (0, 70, 140, 210); de P (0, 30, 60, 90); y de K (0, 90, 180, 270). Pero no encontraron diferencias significativas en sus resultados, obteniendo rendimientos máximos de RFF de 21.8 t ha<sup>-1</sup> y mínimos de 14.7 t ha<sup>-1</sup>.

Más recientemente, en Tabasco, Pérez et al, (2005) investigaron sobre la fertilización NPK en palma de aceite, durante 2 años y evaluaron las siguientes dosis de N (60, 90, 120, 150); de P (30, 60, 90, 120); y de K (60, 120, 180, 240) en kg ha<sup>-1</sup>) sin encontrar diferencias significativas entre los tratamientos, registrándose un rendimiento de 19.9 t ha<sup>-1</sup> de RFF con la dosis 60-90-240, mientras que el más bajo fue de sólo 14.1 t ha<sup>-1</sup> con la dosis 120-90-240. Estos dos son los únicos dos experimentos que se han realizado en el sureste de México en años recientes.

#### **3.6.1. Manejo de la fertilización en la palma de aceite**

La fertilización ya se ha constituido en una práctica general tanto en los viveros como en las plantaciones de palma de aceite. Actualmente se incluyen en la fertilización elementos mayores y menores pues se busca alcanzar rendimientos de cosecha más altos (Williams, 1975). El objetivo principal de los fertilizantes es lograr un uso efectivo de los nutrientes, satisfaciendo las necesidades de la planta. Para lograr esto, se requiere aplicación preventiva tanto como correctiva, lo que finalmente permitiría incrementar la rentabilidad del cultivo de palma de aceite (Goh *et al.*, 2003)

Los fertilizantes deben aplicarse 6 meses después de plantar en campo, y posteriormente una vez por año. Las dosis y fuentes dependen del tipo y condición del suelo y de las condiciones climáticas. Es muy importante saber que la época más apropiada para la aplicación de fertilizantes es al inicio de la temporada de lluvias, ya que en estas condiciones ocurre la disociación de los minerales con la humedad del suelo y se facilita la absorción mediante el sistema radical de las palmas (Cruz y Ramírez, 1984). Las dosis y métodos de aplicación de los fertilizantes deben estar basados en las recomendaciones derivadas de estudios de fertilización, los cuales consideran el equilibrio nutricional adecuado así como otros criterios (Larez, 2003).

La aplicación de fertilizantes en palma aceitera es un factor clave que determina el nivel de rendimiento. Sin embargo, varias prácticas agronómicas influyen sobre el potencial de respuesta de las palmas a la aplicación de los fertilizantes. Por ejemplo, toda plantación debería iniciarse con el mejor material de siembra disponible, una selección rigurosa en la etapa de vivero, y el uso de técnicas de preparación de los suelos que ocasionen una mínima degradación al suelo y que conserven la materia orgánica. De igual manera, el aprovechamiento de los fertilizantes se ve comprometido si se presenta de alta competencia de malezas, suelos mal drenados y otros impedimentos para el desarrollo radical (Durán *et al.*, 1999).

### **Época de aplicación de los fertilizantes**

Para minimizar las pérdidas de nutrientes por lixiviación o lavado, no deben aplicarse fertilizantes durante lluvias fuertes o en periodos muy lluviosos. No deben aplicarse los fertilizantes durante el tiempo muy seco (sobre todo la urea). Los mejores meses para la aplicación de fertilizante probablemente son cuando se esperan 100 - 200 mm de precipitación mensual. Se debe prestar particular atención a la planeación, solicitud y disponibilidad de los fertilizantes en bodega para asegurar una aplicación oportuna (Larez, 2003).



## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Localización del sitio de estudio

El presente estudio se compone de dos experimentos, llevados a cabo simultáneamente en diferentes plantaciones comerciales de (*Elaeis guineensis Jacq*) ubicadas en el municipio de Palenque, Chiapas (Figura 1). Las parcelas fueron plantadas en 1999, por lo que al inicio del experimento (febrero de 2006), las palmas tenían 7 años de edad. El híbrido cultivado en ambas plantaciones es Deli x Avros, y la superficie experimental es de aproximadamente 1-30-00 ha en cada parcela.

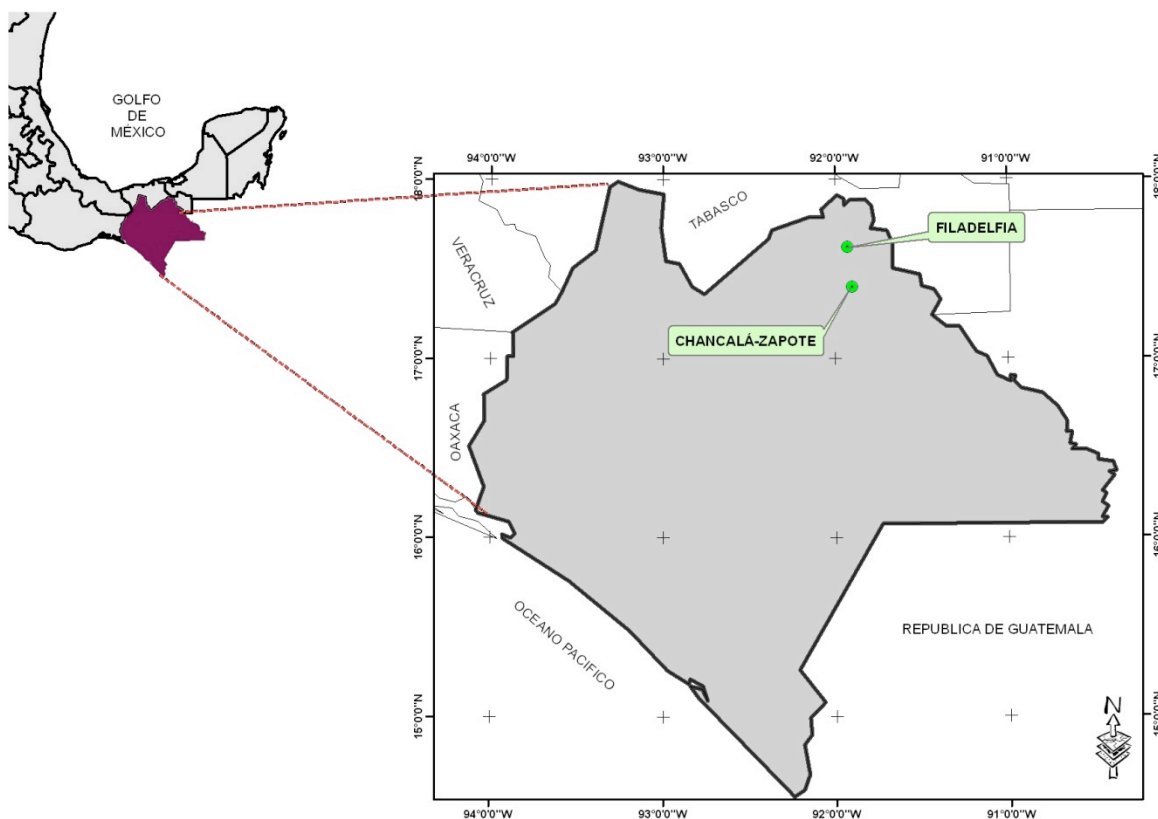


Figura 1. Ubicación de las parcelas experimentales de palma de aceite Filadelfia y Chancalá-Zapote, en el municipio de Palenque, Chiapas.

## **4.2. Muestreo para fertilidad de suelo**

La metodología básica para el muestreo de suelos fue definida hace 50 años por Clines (Robert y Henry, 2001); aunque luego otros autores la han perfeccionado (Salgado et al., 2006), no obstante se ha reconocido que la principal causa de errores en el análisis de suelos puede ser debida al muestreo, antes que errores propios de los procedimientos analíticos (Clines, 1994). Los datos mostrados en los Cuadros 5 y 6 corresponden a los muestreos preliminares que se hicieron antes de aplicar los tratamientos de fertilización NPK. Este muestreo de suelos se realizó en Marzo del 2006, para determinar la fertilidad inicial antes de establecer el experimento. Se colectaron 2 muestras compuestas de suelo a una profundidad 0-30 cm y 2 muestras compuestas de 30-60 cm, con una barrena de acero inoxidable (Salgado *et al.*, 2006) Las muestras compuestas se formaron de 8 sub-muestras, tomadas en un recorrido en zig-zag por toda la parcela. Las muestras fueron depositadas en bolsas de plástico rotuladas. Posteriormente, en el laboratorio de análisis de suelos, plantas y aguas (LASPA) del Campus Tabasco fueron secadas a temperatura ambiente, molidas y tamizadas (2mm) y analizadas empleando los métodos indicados en la Norma Oficial Mexicana NOM-021 (RECNAT-2000).

### **a) Parcela Experimental Filadelfia**

Esta parcela se localiza en el Ejido Filadelfia, cuyas coordenadas son 17°37'10"LN y 91°55'50"LO, es propiedad del Sr. Nicolás Arcos (Anexo A4). La precipitación media anual de la zona es de 2,500 mm y la temperatura media es 27° C (INEGI, 2002) la altitud es de 29 msnm. El suelo es un Migajón arcillo-arenoso con un pH de 5.6 en los primeros 30 cm moderadamente ácido, aunque en los 60 cm presenta un pH de 7.4 (Cuadro 5), que corresponde a medianamente alcalino (Nom-021-RECNAT-2000). De los 0 a los 30 cm el pH se encuentra en los rangos mencionados por otros autores muy favorables para este cultivo (Larez, 2003; Raygada, 2005). En los primeros 30 y 60 cm de profundidad el N se encuentra en valores bajos, el P en los primeros 30 cm se encuentra de

medio a alto, y en los 60 cm se encuentra bajo (Cuadro 5), es el elemento más inmóvil en todos los vegetales, aunque se presenten concentraciones favorable cuando se tiene un pH ácido, el aluminio en exceso puede disminuir el Ca, Mg y P en la palma (Porta *et al.*, 2003). El K se encuentra en valores muy bajos dentro de los 30 y 60 cm de profundidad (Cuadro 5), y para obtener rendimientos satisfactorios en este tipo de suelo se requiere aplicar dosis altas de fertilizantes potásicos debido a la fijación del K por las arcillas expandidas (Mengel y Kirkby, 2000). La CIC en los primeros 30 cm se encuentra en un nivel bajo, aunque en los 60cm se incrementa a  $16.55 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$  estando en un nivel medio, esto indica que la capacidad de suelo para intercambiar cationes se halla entre los  $10\text{-}30 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ , favorable para la palma de aceite (Mite, 2002).

**Cuadro 5. Caracterización física y química de un suelo cultivado con palma de aceite en la parcela experimental “Filadelfia” en Palenque, Chiapas.**

Características	Unidad	Profundidad (cm)	
		0-30	30-60
Acidez del suelo (pH)		5.63	7.43
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	$\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$	9.1	16.55
Materia Orgánica (MO)	%	1.65	0.95
P asimilable (P-Olsen)	$\text{mg kg}^{-1}$	5.55	1.25
Nitrógeno Total (Nt)	%	0.08	0.07
Potasio (K)	$\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$	0.07	0.07
Calcio (Ca)	$\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$	6.25	11.65
Magnesio (Mg)	$\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$	4.2	5
Sodio (Na)	$\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$	0.10	0.24
Boro (B)	$\text{mg kg}^{-1}$	15.67	7.79
Zinc (Zn)	$\text{mg kg}^{-1}$	66.06	0.5

## **b) Parcela Chancalá Zapote**

Esta parcela se encuentra localizada en el Ejido Chancalá-Zapote del municipio de Palenque, en las coordenadas 17°24'20" Latitud norte y 91°53'30" Longitud oeste, es propiedad del Sr. Manuel Gómez (Anexo A5). La precipitación y la temperatura media anual de la zona son de 2500 mm y 27°C respectivamente (INEGI, 2002), con una elevación media de 300 m snm. El suelo es arcilloso con contenidos de MO muy altos, con pH de 7.7 y 7.8 en los primeros 30 y 60 cm de profundidad (Cuadro 6) respectivamente, que representan un suelo neutro a moderadamente alcalino (Nom-021), en el cual casi todos los nutrimentos son absorbidos por los cultivos (Navarro y Navarro, 2003). El contenido de N en este suelo en los primeros 30 cm se clasifica como bajo, llegando a un nivel medio en los 60 cm de profundidad. El contenido de P en los primeros 30 y 60 cm de profundidad se encuentra en un nivel bajo (Cuadro 6), ya que una cantidad importante de P está asociada a la MO y debido a que existe una alta cantidad de calcio, el P queda inmóvil en el suelo (Mengel y Kirkby, 2000; Porta *et al.*, 2003) el contenido de K se encuentra muy bajo en los primeros 30 cm, y a una profundidad de 60 cm se incrementa a un nivel medio (Cuadro 6), los suelos orgánicos presentan bajos contenidos de este elemento, y con el exceso de agua las arcillas son lixiviadas a las capas más profundas, donde se encuentra el K (Ortiz y Ortiz, 1987). La CIC se encuentra en una concentración alta en las profundidades de 30 cm disminuyendo en la profundidad de 60 cm (Cuadro 6).

**Cuadro 6. Caracterización física y química del suelo cultivado con palma de aceite en “Chancalá-Zapote” del Municipio de Palenque, Chiapas.**

Características	Unidad	Profundidad (cm)	
		0-30	30-60
Acidez del suelo (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
P asimilable (P-Olsen)	mg kg <sup>-1</sup>	0.4	2.05
Nitrógeno Total (Nt)	%	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

#### **4.3. Descripción y Clasificación de los suelos de las parcelas Filadelfia y Chancalá-Zapote**

Para complementar la información sobre la fertilidad del suelo se hizo un perfil en la parcela Filadelfia y dos en Chancalá-Zapote para describir y clasificar los suelos de cada parcela experimental, utilizando la metodología de Cuanalo (1990), estos perfiles se realizaron después de la aplicación de los tratamientos. En cada sitio se tomó una muestra de aproximadamente 1.0 kg de suelo por cada horizonte, obteniéndose un total de 11 muestras de suelo; éstas se llevaron al

laboratorio (LASPA) del Campus, Tabasco, donde se realizaron las determinaciones físicas y químicas correspondientes.

Se realizaron las determinaciones siguiendo la metodología de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000: Materia Orgánica (MO) por el método de Walkley y Black; pH mediante potenciometría en agua (relación 1:2); Textura por el método del hidrómetro de Bouyocous; CE del extracto de saturación de suelo por medición electrolítica; ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) por acetato de amonio 1N, pH 7.0 como solución extractante; y fósforo (P) extractable por el método de Olsen. A partir de los resultados de los análisis físicos y químicos de las muestras de suelo, más la información de campo (descripción de los perfiles), se clasificaron los suelos utilizando la metodología de la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB, 2007).

#### **4.4 Tratamientos y Diseño Experimental**

Para generar los tratamientos experimentales se utilizó el modelo San Cristóbal (Martínez, 1988). Los espacios de exploración para NPK probados en el experimento fueron:

**N:** 60, 90, 120 y 150 kg ha<sup>-1</sup>

**P:** 30, 60, 90 y 120 kg ha<sup>-1</sup>

**K:** 120, 180, 240 y 300 kg ha<sup>-1</sup>

La combinación de estos factores generó 12 tratamientos (Cuadro 7), los que se distribuyeron en el campo en un arreglo de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. La unidad experimental (UE) fue de 4 palmas en competencia completa. En cada parcela experimental se utilizaron 192 palmas para el experimento; los bloques corresponden a repeticiones y no al gradiente de algún factor de campo.

**Cuadro 7. Tratamientos de fertilización NPK para palma de aceite, probados en las parcelas experimentales Filadelfia y Chancalá-Zapote, Palenque Chiapas.**

Tratamiento	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
T1	60	30	120
T2	120	30	120
T3	60	90	120
T4	120	90	120
T5	60	30	240
T6	120	30	240
T7	60	90	240
T8	120	90	240
T9	90	60	180
T10	150	60	180
T11	90	120	180
T12	90	60	300

La dosis se expresa en kg ha<sup>-1</sup> del elemento

#### 4.5. Fertilización

**Preparación de las dosis.** El pesado de los fertilizantes N, P y K para cada tratamiento se hizo en bolsas de plástico de 1, 2 y 5 kg de capacidad, hasta completar las dosis; el fertilizante requerido para cada tratamiento fue pesado y embolsado por separado para evitar la mezcla de los productos. Los tratamientos se agruparon para cada UE en una bolsa de polietileno con capacidad de 10 kg, llevando un orden conforme a la distribución de los tratamientos en campo. Se usaron productos comerciales como fuente de los elementos (Cuadro 8).

Para completar un tratamiento se pesaron cuatro veces las cantidades necesarias a fin de aplicarlo a cada una de las 4 palmas que formaron la unidad experimental (UE).

**Cuadro 8. Fuentes de fertilizante aplicado en las fórmulas de fertilización a la palma de aceite en las parcelas Filadelfia y Chancalá-Zapote, de palenque, Chiapas.**

<b>Nutrientes</b>	<b>Fuente</b>	<b>Concentración elemental en el producto comercial</b>
Nitrógeno	Urea	46% de N
Fósforo	Superfosfato de Calcio Triple	18.6% de P
Potasio	Cloruro de Potasio	46% de K

Nota: Se emplearon productos grado comercial

**Forma de aplicación.** Los tratamientos de fertilización se aplicaron en campo manualmente, una vez al año, al inicio de la temporada de lluvias, las cuales fueron variables cada año (Cuadro 9). Al momento de la aplicación del fertilizante a cada palma, se mezclaron las diferentes fuentes NPK 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). Los tratamientos en campo se aplicaron durante tres años consecutivos.

#### **4.6. Muestreos foliares**

Un muestreo preliminar fue realizado para determinar el estado nutricional de las plantaciones donde se establecerían los experimentos, antes de aplicar los tratamientos. Para ello se tomó una muestra compuesta por bloque, formada por ocho submuestras provenientes de la hoja 17 de ocho palmas seleccionadas al azar, dentro de cada bloque.

Por otra parte, muestreos foliares periódicos se realizaron a los tres meses (en los años 2006 y 2008) y a los 8 meses (2007) después de cada aplicación de tratamientos, a fin de evaluar los efectos de la fertilización sobre la concentración nutricional NPK en el follaje de las palmas (Cuadro 9). Estas muestras se



formaron de las 4 palmas de cada UE; se muestrearon los 4 bloques para contar con 4 repeticiones (12 X 4 = 48 muestras por fecha y por sitio). En este caso, la muestra foliar también se tomó de la hoja 17 por ser plantaciones maduras (Fairhurst y Hardter, 2003) ya que esta hoja representa bien el estado nutrimental de la palma completa (Durán *et al.*, 1999).

El procedimiento consistió en tomar 6 folíolos en ambos lados de la parte central de la hoja 17; de estos folíolos se cortaron aproximadamente 10 cm de tejido de su parte media, eliminando la nervadura central; esta porción de tejido es la que forma la muestra foliar. Este proceso se repitió por cada palma empleando siempre una tijera de acero inoxidable (Salgado *et al.*, 2006). Las muestras fueron guardadas en sobres de papel etiquetados con el número de tratamiento y repetición y se conservaron a  $\pm 4$  °C, hasta su entrega al Laboratorio de Fisiología Vegetal del Colegio de Posgraduados Campus Tabasco, en donde se secaron en estufa de aire forzado a 60 °C por 72 horas (Alcazar *et al.*, 1999). Las determinaciones de N, P y K se realizaron en el LASPA del Campus Tabasco.

**Cuadro 9. Muestreos y aplicación de tratamientos de fertilización NPK en palma de aceite, parcelas experimentales Filadelfia y Chancalá-Zapote.**

<b>Fechas</b>	<b>Actividades</b>
• 14/02/2006	• Muestreo Preliminar
• 15/03/2006	• 1ª Aplicación de tratamientos
• 14/06/2006	• 1º Muestreo periódico
• 17/03/2007	• 2ª Aplicación de tratamientos
• 15/11/2007	• 2º Muestreo en la hoja 17
• 16/03/2008	• 3ª Aplicación de tratamientos
• 27/06/2008	• 3º Muestreo en la hoja 17

**Número y peso de racimos.** El registro del número de RFF producidos por palma se llevó a cabo en una bitácora de campo al momento de la cosecha, anotando la palma, los racimos producidos y su peso correspondiente. El pesado de los racimos individuales se realizó en cada cosecha con una balanza electrónica marca Torrey portátil, con capacidad de 100 kg  $\pm$  0.002, registrando la fecha de corte, número y peso de racimo producidos por palma.

**Rendimientos de RFF.** El Rendimiento de los tratamientos fue estimado a partir del peso de los RFF cosechados a lo largo del año en cada palma y se expresó como la media de las UE y repeticiones en toneladas de RFF por tratamiento por hectárea ( $t\ ha^{-1}$ ).

**Concentración foliar NPK.** Las muestras foliares se analizaron para determinar la concentración de N, P y K, expresados como % de peso de la materia seca de los foliolos. Estos valores se utilizaron para comparar los efectos de tratamientos así como la evolución de las concentraciones a lo largo de tres años de observaciones.

#### **4.7. Análisis estadísticos**

Los análisis estadísticos efectuados fueron ANOVAS, comparaciones de medias con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.5$ ) y pruebas de correlación para cada una de las variables bajo estudio, en cada parcela experimental y para cada año de observaciones. Para la concentración foliar de elementos NPK se tuvieron tres años de observaciones, mientras que el rendimiento de RFF se analizaron dos ciclos de producción.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Clasificación de los Suelos de las Parcelas Experimentales

#### Parcela Filadelfia

En la parcela Filadelfia se encontró un suelo **Luvisol háplico** (LV) el cual se caracteriza por presentar un horizonte B árgico (Anexo A1). Fisiográficamente estos suelos se ubican en zonas planas con pendientes ligeramente convexas, inferiores al 0.5%. El material parental son sedimentos aluviales del pleistoceno, influenciados por sedimentos palustres también del pleistoceno. Son suelos profundos que tienen horizontes A delgados, de texturas migajón-arenosas y colores pardo-oscuro; por lo tanto, son imperfectamente drenados pero con menor periodo de anegamiento que los Luvisoles gléyicos, los problemas de manto freático y régimen de humedad ácuico son más relevantes que la baja permeabilidad. Los Luvisoles háplicos son considerados para la palma de aceite como óptimos según (Palma *et al.*, 1999), debido a que son suelos profundos (>150cm) con una saturación de bases de 50% o más y pH de 5.5-6.6 el cual se encuentra en el rango óptimo para el buen desarrollo de este cultivo (Larez, 2003). Estos suelos se clasifican por su capacidad de uso como **IV/D3D2C1**, que corresponde a cultivos tolerantes a la acidez y anegamiento temporal (Palma *et al.*, 2006). Estos Luvisoles presentan acumulación por iluviación de arcillas de alta actividad y un endopedón ártico con una CIC  $\geq 24 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$  de arcilla (Porta *et al.*, 2003). El análisis químicos mostró horizonte superficial una CIC de  $11 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$  considerándose baja; en el horizonte más profundo se encontró un valor de  $75.9 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$  que se clasifica como muy alta (NOM-021). La CIC es un índice de fertilidad del suelo y valores  $8-10 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$  suelen considerarse los mínimos aceptables para que un horizonte A permita rendimientos satisfactorios del cultivo (Porta *et al.*, 2003).

## **Parcela Chancalá-Zapote**

En la parcela Chancalá-Zapote, la clasificación mostró que el suelo de la parcela es un **Leptosol réndzico** (LPrz) (Anexo A2 y A3). Cabe aclarar que el terreno aparentemente no es uniforme y para corroborar con precisión las propiedades de las zonas de la parcela se hicieron dos perfiles. Fisiográficamente estos suelos se localizan en terrenos con topografía cerril, ondulada y en plataformas cársticas (planicie calcárea). El material parental son rocas calcáreas del Terciario Marino. Son suelos de desarrollo reciente que presentan un horizonte A oscuro y suave, que descansa sobre un C o CR; después aparece la roca madre calcárea. Poseen buenos contenidos de materia orgánica, buenos contenidos nutrimentales, buena infiltración o permeabilidad, buena agregación y estabilidad de los agregados; sin embargo presentan problemas de erosión, poca accesibilidad y saturación del suelo con Ca y en ocasiones también con Mg, este último provoca fijación del P al reaccionar con el Ca e induce una deficiencia de micronutrientes; por estas causas, se consideran suelos ligeramente aptos para el cultivo de palma de aceite (Palma *et al.*, 1999). Por su capacidad de uso estos suelos se clasifican en **VI/S2T1E1** y son utilizados ampliamente para cultivos anuales. Son suelos poco desarrollados, muy superficiales, presentan una roca dura continua, o material altamente calcáreo o una capa cementada continua (no un horizonte cementado), dentro los primeros 25 cm, comprenden muy alto contenido de fragmentos gruesos (muy pedregosos) (Porta *et al.*, 2003; Sánchez, 1981). Esta combinación hace a los Leptosoles un grupo raro de suelos, tanto someros como relativamente profundos, con poca humedad disponible como característica común.

## **5.2. Estado Nutricional Preliminar de las Parcelas Experimentales**

### **5.2.1. Concentración inicial NPK, parcela Filadelfia**

La concentración de N foliar en el muestreo preliminar no presentó diferencias significativas entre los bloques; se encontró un valor promedio de 2.48% de N (CV = 3.5) (Cuadro 10), el cual se encuentra dentro del rango óptimo (2.4 a 2.8%), según Fairhurst y Hardter (2003). Esto se debe a que el aporte nutricional por la reserva de N contenida en la materia orgánica del suelo es suficiente para el cultivo (INPOFOS, 2006).

La concentración foliar de P tampoco mostró diferencias significativas entre los bloques, la concentración media de P en la parcela fue 0.19 % (Cuadro10), valor ligeramente superior al óptimo (0.15-0.18) Al respecto, Fairhurst y Hardter (2003) consideran que concentraciones por arriba de 0.25 % de P foliar pueden ser excesivas. Los valores encontrados en las muestras indican que el suelo aporta este nutrimento al cultivo en cantidades más que suficientes.

La concentración media de K foliar fue de 0.15 % (CV = 37.6); no se encontraron diferencias significativas entre los bloques (Cuadro10). Este valor se considera muy bajo e indica deficiencia de K en la plantación, ya que el valor óptimo es de 0.9-1.2 % (Fairhurst y Hardter., 2003), y confirma que el bajo contenido de K del suelo (Cuadro 5), es insuficiente para nutrir al cultivo de palma de aceite (Nair y Sreedharan, 1981). Este es un primer indicador de la necesidad de aportar fertilizantes potásicos al cultivo de la palma de aceite.

La falta de diferencias estadísticas entre bloques antes de iniciar el experimento indica que la parcela era homogénea respecto a la concentración foliar de N, P y K. Este resultado confirma que los bloques funcionan como unidades de repetición y no de agrupamiento. Por otra parte, los valores bajos de N y K foliares proporcionan un primer indicio sobre la necesidad de aportar fertilizantes al cultivo.

**Cuadro 10. Concentración foliar NPK (% MS); muestreo preliminar en palma de aceite, parcela experimental Filadelfia en Palenque, Chiapas.**

BLOQUES	N	P	K
1	2.60 a	0.17 a	0.17 a
2	2.45 a	0.21 a	0.16 a
3	2.50 a	0.20 a	0.12 a
4	2.35 a	0.18 a	0.13 a
<b>Media</b>	2.48±0.09	0.19±0.02	0.15±0.05
<b>Pr&gt;F</b>	0.16	0.319	0.79
<b>C.V. (%)</b>	3.49	9.48	37.59
<b>DMS</b>	0.35	0.074	0.225

Muestras foliares del 14/02/2006. Literales iguales dentro de columnas, indican que no existe diferencia estadística (Tukey  $P \geq 0.05$ ).

### 5.2.2. Concentración inicial NPK, parcela Chancalá-Zapote

La concentración de N foliar no mostró diferencias estadísticas entre los bloques analizados (CV=3.29), junto con la concentración media en la parcela (2.6%), (Cuadro 11) son indicadores de la homogeneidad para esta variable (Fairhurst y Hardter, 2003). Respecto a la concentración de P, tampoco se hallaron diferencias estadísticas entre los bloques (CV = 6.10); la concentración media fue de 0.17% de P; este valor indica que la nutrición fosforada se encontraba en el rango óptimo (Fairhurst y Hardter, 2003).

La concentración foliar de K (Cuadro 11), no presentó diferencias significativas entre bloques, el valor promedio fue 0.19% (CV=18.4); el cual indica que el K está muy deficiente en la plantación, debido a que este elemento es el más demandado para la formación de RFF y la síntesis de aceites, sobre todo una vez que inicia la etapa reproductiva de las palmas. Al parecer la deficiencia de K se debe al bajo contenido del nutrimento en el suelo.

Como en la parcela anterior, la falta de diferencia estadística entre bloques antes del inicio del experimento indica que la parcela era homogénea respecto a la concentración foliar NPK, lo que además confirma que los bloques funcionan como unidades de repetición y no de agrupamiento.

**Cuadro 11. Concentración foliar NPK (% MS); muestreo preliminar en palma de aceite, parcela experimental Chancalá-Zapote, Palenque Chiapas.**

BLOQUES	N	P	K
1	2.55 a	0.18 a	0.25 a
2	2.65 a	0.19 a	0.15 a
3	2.60 a	0.16 a	0.18 a
4	2.70 a	0.16 a	0.17 a
<b>Media</b>	2.62±0.09	0.17±0.01	0.19±0.03
<b>Pr&gt;F</b>	0.44	0.13	0.14
<b>C.V. (%)</b>	3.30	6.10	18.39
<b>DMS</b>	0.35	0.04	0.14

Muestreos foliares del 14/02/2006. Literales iguales dentro de columnas indican que no existe diferencia estadística Tukey ( $P \geq 0.05$ ).

### 5.3. Efecto de tratamientos en la parcela Filadelfia

#### 5.3.1. Concentración de N foliar

En el muestreo después de la primera aplicación de tratamientos no se encontraron diferencias significativas en la concentración foliar de N. Se observó un promedio de 2.5 %; CV = 7.2 (Cuadro 12), este valor se mantiene dentro del rango óptimo de 2.4–2.8 (Fairhurst y Hardter, 2003). La falta de efecto de la fertilización coincide con lo reportado por Pérez et al, (2005) para plantaciones de palma de aceite en Tabasco.

Antes de iniciar el experimento, la concentración foliar de N estaba en un nivel óptimo; la misma presentó un aumento de 0.05 %, lo cual se debe a que la palma de aceite demanda nutrientes para la formación de los RFF (Tarmizi y Mohd, 2006) y probablemente la mayor parte de los aportes de la fertilización sirvieron para satisfacer dicha demanda; sin importar las dosis aplicadas no ocurrió una acumulación importante en la reserva de N, por lo cual no se detectaron diferencias en las concentraciones de N foliar entre tratamientos. Se considera que la fertilización sirvió para cubrir la demanda corriente del año, lo que explica el aumento ligero en la concentración de N foliar durante el primer ciclo de experimentación (Duran *et al.*, 1999). La aplicación de fertilizantes tiende a aumentar ligeramente la concentración foliar de N, como lo reporta Rahman, (2002) quien encontró datos similares al incrementarse de 2.76 a 2.84 % (0.08 % de incremento).

Durante el segundo año de experimentación, el N foliar no mostró diferencias estadísticas entre tratamientos; con un promedio en la concentración de 2.3 % (CV = 4.2) ésta disminuyó por abajo del óptimo (2.4 - 2.8 %; Fairhurst y Hardter, 2003), La concentración de N foliar disminuyó en la parcela en 0.2 % en promedio, respecto al año anterior; esta respuesta podría deberse a un aumento importante en la demanda del cultivo, incremento de RFF y hojas producidas (Mutert, 1999) demanda que aparentemente no fue satisfecha por ninguno de los tratamientos experimentales (Cuadro 12).

En el tercer año de experimentación tampoco se hallaron diferencias significativas en la concentración foliar de N. Se encontró un promedio de 3.0 % (CV = 16.3) con valores máximos de 3.4% (tratamientos 150-60-180). Durante 2008 se observó un incremento muy importante en la concentración de N foliar en la parcela respecto a los años anteriores, pero este aumento fue general sin detectarse diferencias entre tratamientos; un comportamiento similar fue reportado por Kim y Zaharah (2002). La falta de respuesta detectada en la concentración de N a las diferentes dosis de fertilización puede obedecer al aporte de N del suelo



(Navarro y Navarro, 2003), el cual es suficiente para mantener la concentración foliar en condición óptima (Cuadro 12).

**Cuadro 12. Efecto de los tratamientos en la concentración Foliar de N por muestreo de tres años de evaluación, en la parcela Filadelfia.**

Tratamiento (N-P-K)	Media de tres años N foliar			
	2006	2007	2008	
60-30-120	2.62 a	2.36 a	2.5 a	2.50 a
120-30-120	2.60 a	2.32 a	3.10 a	2.67 a
60-90-120	2.48 a	2.36 a	2.92 a	2.59 a
120-90-120	2.52 a	2.36 a	2.60 a	2.49 a
60-30-240	2.51 a	2.32a	3.10 a	2.64 a
120-30-240	2.62 a	2.23 a	3.10 a	2.65 a
60-90-240	2.64 a	2.27 a	2.95 a	2.62 a
120-90-240	2.44 a	2.27 a	3.30 a	2.67 a
90-60-180	2.52 a	2.27 a	2.97 a	2.59 a
150-60-180	2.46 a	2.36 a	3.40 a	2.74 a
90-120-180	2.50a	2.36 a	3.10 a	2.65 a
90-60-300	2.49 a	2.45 a	3.10 a	2.68 a
<b>Medias de años</b>	2.53 b	2.33 c	3.04 a	2.63
<b>Pr&gt;F</b>	0.82	0.23	0.73	0.77
<b>C.V. (%)</b>	7.2	4.51	16.29	5.78
<b>DMS</b>	0.45	0.26	1.22	0.38

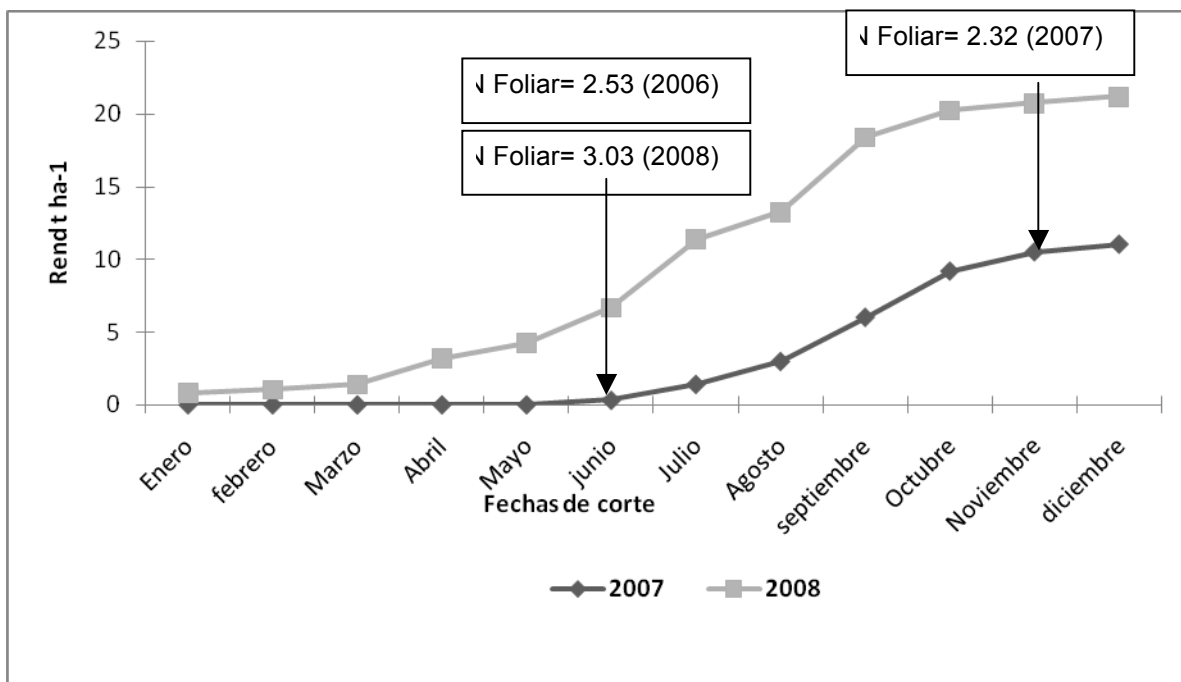
Letras iguales dentro de las columnas, indican que no existe diferencia estadística entre tratamientos, en el caso de los años, ni entre muestreos en la de la media (Tukey  $P \geq 0.05$ ).

Al analizar estadísticamente el promedio de tres años de observaciones no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización, con

concentraciones medias de 2.49 a 2.68 % de N foliar durante este trienio (Cuadro 12, última columna de la derecha).

Al comparar las medias anuales de la parcela experimental en su conjunto, independientemente de los tratamientos, se observan diferencias estadísticas entre años, teniendo una concentración más alta de 3.04 % (muy superior al nivel óptimo) en 2008 comparándolo al año 2006 presentó 2.53 %; la concentración más baja se observó en 2007 con 2.33 % de N foliar. Lo cual refleja el efecto de año, y realza la necesidad de conducir por un mayor número de años este tipo de experimento para esclarecer la respuesta nutricional de la palma de aceite, ya que debemos recordar que el N es almacenado en el tronco y después movilizado durante las épocas de demanda (producción de hojas, inflorescencias y fructificación) (Durán *et al.*, 1999). Esta tendencia observada durante los primeros tres años de experimentación coincide con lo reportado por Akbar *et al.*, (1976), quien encontró que en el primer año hubo una deficiencia, de igual manera en el segundo disminuyó 0.2 % el N foliar, aunque para el tercer año se presentó un pequeño incremento llegando al óptimo con 2.41% de N.

La disminución de N foliar para 2007, se debe a la gran demanda de nutrimentos para formación de RFF, esto indica que cuando aumenta el rendimiento, disminuye la concentración foliar por movilización de las reservas (Figura 2). Mite *et al.*, (2002) también encontró que al aumentar los rendimientos la concentración de N foliar disminuye.



**Figura 2.- Niveles de N Foliar en tres años, con rendimientos muy variables en la parcela Filadelfia.**

Ante la falta de respuesta a las dosis de fertilización con N, se deduce que 60 kg ha<sup>-1</sup>, son suficientes para mantener la concentración de N en el rango óptimo, debido a que el suelo aporta N, y la fertilización mantiene la fertilidad a mediano y largo plazo.

### 5.3.2. Concentración P foliar

La concentración de P foliar después de la primera fertilización no presentó diferencias significativas entre tratamientos, mostrando un promedio de 0.16% (CV = 5.5), este valor se encuentra dentro del rango óptimo para el elemento (0.15-0.18% de P, Fairhurst y Hardter, 2003; ICA, 1978).

En el segundo año de experimentación, la concentración de P foliar tampoco mostró diferencias estadísticas. Se registró un promedio de 0.17 % (CV = 30.09)

ubicándose, al igual que el año anterior, en un nivel óptimo del elemento. Fairhurst y Hardter (2003) e ICA (1978) encontraron resultados similares.

La concentración de P foliar en el tercer año de experimentación no mostró diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 13), con un promedio en la parcela de 0.14% de P (CV = 21.1); de acuerdo con Fairhurst y Hardter (2003) este valor indica que el elemento es deficiente en las palmas. Las deficiencias observadas en 2008 se deben probablemente a que la plantación disparó su producción de RFF en más de 100% respecto al año anterior (Figura 2); la demanda del elemento fue muy grande, por lo cual el aporte de P fue insuficiente para suplirla, presentándose valores de deficiencia (Duran *et al.*, 1999). Lo anterior coincide con lo observado por Pérez *et al.*, (2005), quien en un experimento de fertilización NPK de dos años encontró una disminución en la concentración de P de 0.17 % a 0.14 %, llegando a considerar la plantación como deficiente en P.

En 2008, los tratamientos que contenían las dosis de 30 y 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mostraron valores foliares por abajo del nivel óptimo de este elemento; sin embargo, en los tratamientos donde se aplicaron las dosis 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> con 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, presentaron concentraciones dentro del rango óptimo de P foliar (Cuadro 13). Una respuesta similar encontró Pérez *et al.*, (2005), al parecer ésta obedece a una interacción con el N, ya que concentraciones más altas se relacionan con el incremento de la dosis de N. Akbar (1976) encontró que al aumentar la cantidad de N en el suelo aumentaba la concentración de P foliar. Lo cual se observa al comparar los tratamientos de fertilización 60-30-120 y 120-30-120, que produce un incremento del P foliar en el primer y segundo año; el cual se reduce en el tercer año por la demanda de P en los frutos y el suelo no tiene las reservas para suministrarlo (Mutert, 1999). Todo parece indicar que la dosis de 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, es necesaria para mantener una nutrición óptima de este elemento.

Al comparar estadísticamente el promedio general de los tres años consecutivos de experimentación no se observan diferencias significativas entre los

tratamientos (Cuadro 13); sin embargo se presentó una tendencia a disminuir la concentración foliar de P, la cual es explicada por el incremento en el rendimiento y la carencia en el suelo de este elemento. Al parecer en este suelo son suficientes 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, para mantener el nivel de fertilidad a largo plazo.

**Cuadro 13. Efecto de tratamientos sobre la concentración de P foliar (% MS) en palma de aceite durante tres años de experimentación, Parcela Filadelfia.**

<b>Tratamiento (N-P-K)</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>Media de tres años P foliar</b>
60-30-120	0.14 a	0.17 a	0.13 a	0.14 a
120-30-120	0.22 a	0.17 a	0.14 a	0.17 a
60-90-120	0.15 a	0.16 a	0.17 a	0.16 a
120-90-120	0.18 a	0.17 a	0.16 a	0.16 a
60-30-240	0.16 a	0.16 a	0.14 a	0.15 a
120-30-240	0.21 a	0.16a	0.13 a	0.16 a
60-90-240	0.19 a	0.16 a	0.13 a	0.16 a
120-90-240	0.22 a	0.17 a	0.14 a	0.18 a
90-60-180	0.15 <sup>a</sup>	0.16 a	0.15 a	0.15 a
150-60-180	0.15 a	0.16 a	0.15 a	0.15 a
90-120-180	0.18 <sup>a</sup>	0.16 a	0.15 a	0.16 a
90-60-300	0.15 a	0.17 a	0.12 a	0.15 a
<b>Media</b>	0.17 a	0.16 a	0.14 b	0.16
<b>Pr&gt;F</b>	0.59	0.50	0.68	0.49
<b>C.V(%)</b>	35.93	6.44	21.73	13.9
<b>DMS</b>	0.15	0.02	0.078	0.05

Literales iguales dentro de las columnas indican que no existe diferencia estadística entre tratamientos, en el caso de los años, ni entre muestreos en la de la media (Tukey P≥0.05)

### 5.3.3. Concentración K Foliar

La concentración de K foliar en el primer año de fertilización no mostró diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 14); alcanzó un promedio en la parcela de 0.32 % K (CV = 18.51), el cual es un valor bajo respecto al óptimo (0.9 -1.2) Fairhurst y Hardter (2003). La concentración de K en la palma de aceite fue deficiente, lo que se puede atribuir a un bajo aporte del suelo y a una demanda muy alta de K por el cultivo, elemento que interviene en la producción de racimos y fabricación de aceite (Rankine y Fairhurst, 1999). Los resultados muestran que ninguna de las dosis de K probadas pudo satisfacer la demanda del cultivo en el primer año de experimentación.

En el segundo año, los tratamientos de fertilización no mostraron diferencia estadística (Cuadro 14), con una media de 0.64% (CV = 15.93). Aunque el nivel de K foliar se duplicó en el primer año, la concentración sigue siendo deficiente en todos los tratamientos (Fairhurst y Hardter, 2003).

En el tercer año de experimentación el K foliar una vez más no mostró diferencia significativa entre tratamientos, siendo la concentración media de 0.59 % (CV = 17.61). La concentración de este elemento en la plantación fue muy baja desde antes de iniciar el experimento, aunque hubo incrementos con la aplicaciones de tratamientos, éstos no fueron suficientes para llevar las palmas al rango óptimo; todos los tratamientos permanecieron en un nivel deficiente a pesar de tres aplicaciones sucesivas de fertilización potásica. El K es el elemento que más demanda el cultivo (Mutert, 1998) y es importante considerar que de los elementos mayores es probablemente el que limita una mejor producción de RFF. (Mite *et al.*, 2002).

Lo anterior refuerza la idea de mantener el experimento por un mayor número de años para aclarar si el K aplicado al suelo es tomado directamente por la planta para utilizarlo en la producción o este es almacenado en el tronco. Ya que de no haber respuesta, se debería incrementar la dosis de K por arriba de  $240 \text{ kg ha}^{-1}$ , para lograr una nutrición balanceada. Pérez *et al*, (2005) y Mite *et al*, (2002) y Cruz y Ramírez (1984) con estas dosis reportaron aumentos en la concentración foliar del K en este cultivo. Nuestros resultados coinciden con lo reportado por Akbar (1976), con las dosis de K evaluadas por fechas no encontró diferencias en la concentración foliar y reporta una disminución en el tercer año llegando a un déficit de este elemento.

Al analizar el promedio de K foliar de tres años, no se encontraron diferencias estadísticas y la concentración se muestra deficiente en todos los tratamientos. Hay que considerar que el suelo es un Luvisol háplico cuyo contenido de nutrimentos es pobre (Palma *et al.*, 2006), con un pH moderadamente ácido, el cual puede tener un efecto negativo sobre el aprovechamiento de los fertilizantes (INPOFOS, 2006). Una solución apunta más bien a hacer enmiendas al suelo (encalado, aportes de materia orgánica) ya que la fertilidad es pobre y algunos elementos antagónicos, como el aluminio y magnesio, impiden que los nutrimentos sean movilizados por la planta y quedan insolubles en el suelo (Mengel y Kirkby, 2000). La dosis de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  podría aportar suficiente K para satisfacer la demanda del cultivo y elevar la concentración foliar del elemento en el mediano plazo.

**Cuadro 14. Efecto de tratamientos sobre la concentración de K foliar (% MS) en palma de aceite durante tres años de experimentación, Parcela Filadelfia**

<b>Tratamiento (N-P-K)</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>Media de 3 años K foliar</b>
60-30-120	0.28 a	0.65 a	0.64 a	0.52 a
120-30-120	0.32 a	0.60 a	0.59 a	0.50 a
60-90-120	0.30 a	0.61 a	0.55 a	0.48 a
120-90-120	0.30 a	0.57 a	0.45 a	0.44 a
60-30-240	0.34 a	0.65 a	0.70 a	0.56 a
120-30-240	0.33 a	0.69 a	0.59 a	0.54 a
60-90-240	0.36 a	0.68 a	0.64 a	0.56 a
120-90-240	0.34 <sup>a</sup>	0.70 a	0.62 a	0.56 a
90-60-180	0.26 a	0.60 a	0.52 a	0.46 a
150-60-180	0.32 a	0.65 a	0.55 a	0.51 a
90-120-180	0.33 a	0.68 <sup>a</sup>	0.61 a	0.53 a
90-60-300	0.36 a	0.58 a	0.63 a	0.52 a
<b>Media</b>	0.32 b	0.63 a	0.59 a	0.51
<b>Pr&gt;F</b>	0.71	0.84	0.20	0.05
<b>C.V. (%)</b>	21.85	18.31	17.61	10.30
<b>DMS</b>	0.17	0.26	0.27	0.13

Dentro de columnas, literales iguales indican que no existe diferencia estadística entre tratamientos; en la hilera de la Media, literales diferentes indican diferencia entre muestreos (Tukey  $P \geq 0.05$ ).



## **5.4. Efecto de los tratamientos en la parcela Chancalá-Zapote**

### **5.4.1. Concentración de N foliar**

Después del primer año de fertilización la concentración foliar de N no mostró diferencias significativas entre tratamientos. El promedio de N fue de 2.47 % (CV de 7.9) (Cuadro 15), valor que se mantiene dentro del rango óptimo de 2.4-2.8 (Fairhurst y Hardter, 2003). No se registró un incremento en la concentración de N foliar, al contrario se observa una disminución respecto al valor preliminar. El N es el nutrimento de mayor dinámica, para poder ser absorbido por las plantas debe pasar de formas orgánicas a minerales, la velocidad de transformación de éste depende varios factores; humedad del suelo, contenido y calidad de la materia orgánica, fertilidad del suelo, etc. (Navarro y Navarro, 2003), una vez que el N se encuentra en formas absorbibles por las plantas ( $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4$ , básicamente) es importante que existan condiciones ambientales favorables que permitan que la eficiencia de la fertilización sea máxima, en experimentos con fertilización nitrogenada es común que, a pesar de que existan aplicaciones de N, no se observen respuestas inmediatas; esto se debe probablemente a que no todo el N aportado en los tratamientos es absorbido por la planta o que éste sea destinado a la producción de racimos (Pérez *et al.*, 2005).

En el segundo año, los tratamientos de fertilización no presentaron diferencias significativas, presentándose un promedio de 2.0 % de N y un CV de 8.4 (Cuadro 15), indica una concentración deficiente de N foliar. Una respuesta similar es reportada por Mite *et al.*, (2002) en 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 la mayor producción de RFF, se incrementa de manera importante (Figura 3), agotando las reservas del cultivo.

En el tercer año de experimentación, la concentración de N foliar no mostró diferencias estadísticas entre tratamientos. El promedio que se registró en la parcela fue de 2.88 % con CV de 9.9 e indica buena nutrición nitrogenada.

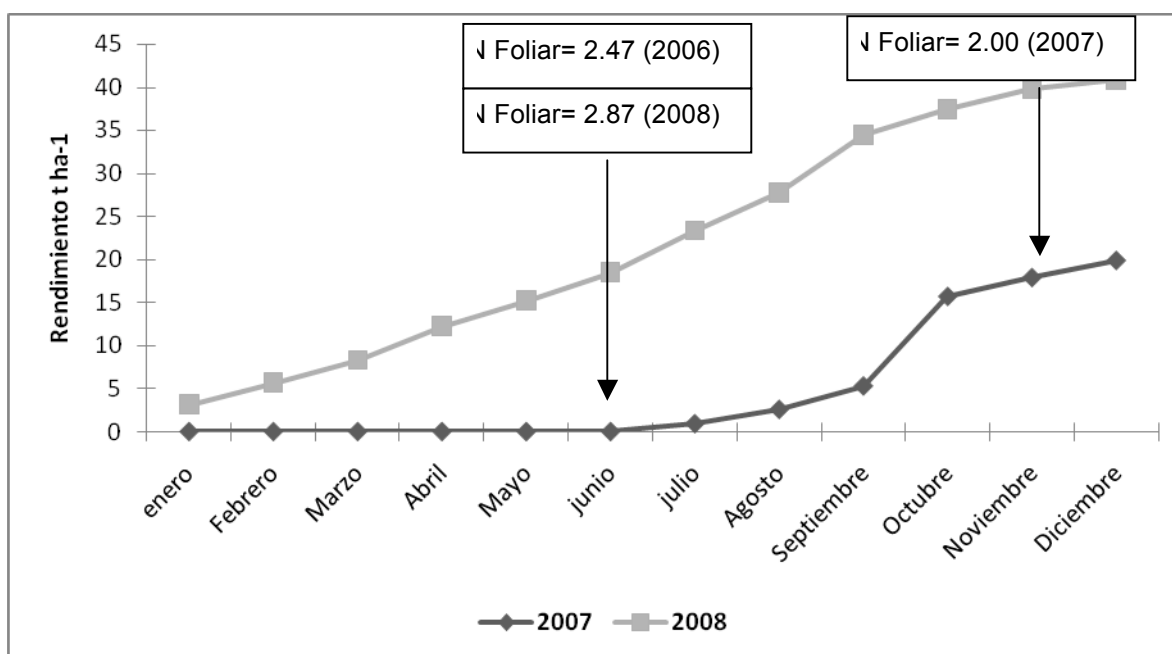
**Cuadro15. Efecto de tratamientos sobre la concentración de N foliar (% MS) en palma de aceite durante tres años de experimentación, Parcela Chancalá-Zapote.**

<b>Tratamientos (NPK)</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>Media de tres años N foliar</b>
60-30-120	2.50 a	1.95 a	2.9 a	2.45 a
120-30-120	2.59 a	2.00 a	2.95 a	2.51 a
60-90-120	2.56 a	2.13 a	2.95 a	2.54 a
120-90-120	2.42 a	2.00 a	2.82 a	2.41 a
60-30-240	2.43 a	1.95 a	2.87 a	2.42 a
120-30-240	2.65 a	2.00 a	2.70 a	2.45 a
60-90-240	2.43 <sup>a</sup>	1.86 a	2.87 a	2.39 a
120-90-240	2.40 <sup>a</sup>	2.00 a	2.92 a	2.44 a
90-60-180	2.50 a	2.00 a	2.97 a	2.49 a
150-60-180	2.43 a	2.05 a	2.87 a	2.45 a
90-120-180	2.35 a	2.05 a	2.72 a	2.37a
90-60-300	2.44 a	2.04 a	2.97 a	2.48 a
<b>Media</b>	2.47 b	2.00 c	2.88 a	2.45
<b>Pr&gt;F</b>	0.65	0.84	0.95	0.65
<b>C.V. (%)</b>	8.02	8.81	9.96	4.62
<b>DMS</b>	0.49	0.43	0.71	0.28

Dentro de columnas, literales iguales indican que no existe diferencia estadística entre tratamientos; en la hilera de la Media, literales diferentes indican diferencias entre muestreos (Tukey ( $P \geq 0.05$ )).

Al hacer una comparación entre tratamientos, en base al promedio de N foliar de tres años tampoco se encontraron diferencias significativas. Al igual que en el sitio Filadelfia se observan estos mismos resultados. En 2007 el estado nutricional del cultivo se redujo en ambas plantaciones. Akbar *et al*, (1976) encontraron una respuesta parecida a la observada en este experimento, pero con una concentración sub-óptima en el tercer año.

La deficiencia de N durante 2007 se atribuye a la mayor producción de RFF en este periodo y por ello se generó una alta demanda (Figura 3), esta misma respuesta se encontró en la parcela Filadelfia. 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 tres años de N es de 2.45%, se deduce que 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, son suficientes para mantener la concentración de N en el rango óptimo, ya que esta dosis puede mantener el nivel de fertilidad del suelo.



**Figura 3.- Niveles de N Foliar en tres años, con rendimientos variables en la parcela Chancalá-Zapote.**

#### **5.4.2. Concentración de P foliar**

La concentración de P en la primera fertilización no mostró diferencias significativas entre tratamientos, con un promedio general de 0.16% y CV de 13.6 (Cuadro 16); sin embargo Ollagnier *et al*, (1970) obtuvieron respuestas favorables cuando la concentración de P foliar era de 0.15%. En el estudio, la concentración de P disminuyó en 0.01% respecto al valor preliminar, probablemente por una mayor demanda y el bajo contenido de P del suelo (Pérez *et al.*, 2005); no obstante, la concentración foliar permaneció dentro del rango óptimo (0.16 a 0.18 % de P).

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 16) lo que podría deberse que la producción de RFF demandó cantidades de P similares a las aplicadas en los tratamientos experimentales. Akbar *et al*, (1976) encontraron una respuesta similar; al aplicar 1.5 kg de P por palma por año, durante 2 años de fertilización, registró una concentración foliar de 0.15%; al aumentar la dosis a 3.0 kg por palma por año, no observó aumento de la concentración foliar.

De igual forma, la tercera aplicación de fertilizantes no mostró diferencias significativas en los tratamientos estudiados, aunque este fue el año con los valores más bajos observados, con deficiencias de P en todos los tratamientos (Cuadro 16). Al comparar los promedios de los tratamientos (tres años de observaciones) se aprecia que el P no presentó diferencias entre tratamientos en este periodo. Es de notar que los tratamientos con mayor aporte de P se mostraron deficientes, influidos por la baja concentración registrada en este año, mientras que la dosis 00-30-00 se encontró en el rango óptimo (Cuadro 16); un resultado similar fue reportado por Pérez *et al*, (2005).

Al comparar los promedios de 3 años a escala de la parcela, se observan diferencias significativas entre muestreos, siendo 2008 el que tuvo valores más bajos, con niveles claramente deficientes de P en todos los tratamientos (Cuadro 16). Pérez (2006) encontró diferencias entre años y reporta que la concentración de P disminuye en el segundo año, pero dicha disminución se presentó solamente con la dosis más baja (00-30-00), mientras que en este estudio encontramos deficiencias incluso con las dosis más altas. Al respecto, Akbar *et al*, (1976) 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 los tratamientos presentaron mucha variabilidad para la concentración nutrimental, con CV de hasta 25 %, el cual es un valor muy alto y podría enmascarar los efectos de los tratamientos. La concentración de P disminuyó hasta en 0.06% respecto a los muestreos anteriores, probablemente porque 2008 fue el año con mayor rendimiento de RFF; la producción se incrementó a medida que el cultivo ganó edad y por lo tanto aumentó la demanda de P (Figura 3). 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).

**Cuadro 16. Efecto de tratamientos sobre la concentración de P foliar (% MS) en palma de aceite durante tres años de experimentación, Parcela Chancalá-Zapote.**

<b>Tratamiento (NPK)</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>Media de tres años P foliar</b>
60-30-120	0.16 a	0.16 a	0.14 a	0.15 a
120-30-120	0.16 a	0.16 a	0.13 a	0.15 a
60-90-120	0.16 a	0.17 a	0.14 a	0.15 a
120-90-120	0.16 a	0.17 a	0.11 a	0.14 a
60-30-240	0.19 a	0.17 a	0.11 a	0.15 a
120-30-240	0.16 a	0.16 a	0.13 a	0.15 a
60-90-240	0.18 a	0.16 a	0.14 a	0.16 a
120-90-240	0.16 a	0.16 a	0.13 a	0.15 a
90-60-180	0.14 a	0.17 <sup>a</sup>	0.14 a	0.15 a
150-60-180	0.16 a	0.15 a	0.11 a	0.14 a
90-120-180	0.16 a	0.17 a	0.11 a	0.14 a
90-60-300	0.18 a	0.17 a	0.13 a	0.16 a
<b>Media</b>	0.16 a	0.16 a	0.13 b	0.15
<b>Pr&gt;F</b>	0.18	0.69	0.70	0.53
<b>C.V (%)</b>	13.10	9.86	24.38	8.63
<b>DMS</b>	0.05	0.04	0.077	0.03

Dentro de columnas, literales iguales indican que no hay diferencias estadística entre tratamientos; en la hilera de la Media, literales diferentes indican diferencias entre muestreos Tukey ( $P \geq 0.05$ ).

### 5.4.3. Concentración de K foliar

Al evaluar la respuesta a la primera aplicación de K en la parcela experimental Chancalá-Zapote se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos, pero sin que el valor foliar tuviera relación con las dosis aplicadas. Para el K foliar a nivel de la parcela se registró un promedio de 0.38 % (CV = 17.6), valor que es muy inferior al óptimo (1.0 %), pero resultó mayor en 0.13 % respecto al muestreo preliminar. El valor medio producido por la fertilización probablemente indica que el K fue absorbido y almacenado en los órganos de la palma, sin relación con los tratamientos, pero produjo un aumento de la reserva aun cuando el cultivo demandaba mayor cantidad para alcanzar el nivel óptimo foliar (Cuadro 17).

En el segundo año de experimentación, el K foliar no presentó diferencias significativas en los tratamientos evaluados, sin embargo, la concentración media de la parcela aumentó hasta 1.09 % (CV = 16.78), alcanzando el nivel óptimo en todos los tratamientos (Fairhurst y Hardter, 2003). Un incremento promedio de 0.71 % en el K foliar indica que hubo un efecto positivo con la aplicación de los fertilizantes, sin embargo el efecto es generalizado y no se observa relación entre dosis aplicadas y concentración foliar; por lo que se sugiere mantener la dosis de 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Cuadro 17), considerando que este suelo tiene contenidos altos de K en el horizonte de 30 a 60 cm de profundidad (Cuadro 6).

La aplicación de las dosis de fertilizantes en el tercer año, no produjo diferencias entre tratamientos; pero el promedio del K foliar (1.03%, CV = 20.06) se mantuvo arriba del rango óptimo (Fairhurst y Hardter, 2003) en casi todos los tratamientos. Villalobos *et al*, (1999) al evaluar la fertilización potásica en una parcela experimental con dosis bajas, encontraron una concentración de K foliar en niveles muy cercanos al óptimo.

En este estudio, las dosis aplicadas no muestran una relación directa con la respuesta sobre la concentración foliar; en el Cuadro 17 se observa que las dosis evaluadas son las mismas durante tres años, pero el K foliar ha sido muy variable;

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 foliar aumentó hasta alcanzar la concentración óptima; se puede concluir que la fertilización potásica dio resultados favorables acumulativos para el cultivo de palma de aceite, pero sin responder de manera directa a los tratamientos.

**Cuadro 17. Efecto de tratamientos sobre la concentración de K foliar (%MS) en palma de aceite durante tres años de experimentación, parcela de Chancalá-Zapote.**

<b>Tratamiento (NPK)</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>Media de tres años K foliar</b>
60-30-120	0.60 a	1.16 a	0.96 a	0.90 a
120-30-120	0.50 ab	1.00 a	0.94 a	0.81 a
60-90-120	0.50 ab	0.97 a	0.89 a	0.78 a
120-90-120	0.44 abc	1.16 a	0.89 a	0.83 a
60-30-240	0.37 bcd	1.14 a	1.04 a	0.85 a
120-30-240	0.31 cd	0.99 a	1.07 a	0.79 a
60-90-240	0.35 bcd	1.29 a	1.05 a	0.90 a
120-90-240	0.26 d	1.02 a	1.16 a	0.81 <sup>a</sup>
90-60-180	0.31 acd	1.13 a	1.14 a	0.86 a
150-60-180	0.31 cd	1.04 a	1.08 a	0.80 a
90-120-180	0.29 acd	1.13 a	1.04 a	0.82 a
90-60-300	0.36 bcd	1.08 a	1.14 a	0.86 a
<b>Media</b>	0.38 b	1.09 a	1.03 a	0.83
<b>Pr&gt;F</b>	0.0001	0.51	0.66	0.91
<b>CV (%)</b>	17.82	16.78	20.94	14.02
<b>DMS</b>	0.17	0.47	0.53	0.29

Dentro de columnas, literales iguales indican que no existe diferencia estadística entre tratamientos; en la hilera de la Media, literales diferentes indican diferencia entre muestreos (Tukey  $P \geq 0.05$ ).



Al analizar los promedios anuales de K foliar se observan diferencias significativas entre años (Cuadro 17), correspondiendo los valores más altos (óptimos) a los años 2007 y 2008; esto indica que el K aplicado al suelo fue absorbido por la palma de aceite y mejoró la nutrición de la parcela en general por acumulación, a pesar del incremento en el rendimiento de RFF observado. Dado que las dosis más bajas aportan al cultivo tanto K como las más altas, esta tendencia, observada durante tres años, sugiere que se deben emplear de manera preliminar la dosis de 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O y continuar el experimento.

### **5.5. Rendimiento de RFF y costos fertilización en la parcela Filadelfia**

El rendimiento de RFF es el aspecto más importante del cultivo para los productores, ya que éstos esperan que sus ingresos económicos aumenten cuando el rendimiento de la plantación se incrementa.

Para evaluar el efecto global de la fertilización de NPK sobre el rendimiento de la palma de aceite se cuantificó la cosecha de RFF durante dos años consecutivos. La respuesta a la fertilización en ambos años no mostró diferencias significativas entre tratamientos, el rendimiento medio de la parcela Filadelfia en 2007 fue de 11.06 t ha<sup>-1</sup> (CV = 49.11) y en 2008 se incrementó hasta 21.81 t ha<sup>-1</sup> (CV = 53.30). Esta mejora general del rendimiento de la parcela puede explicarse por un aumento de la capacidad productiva de la plantación, a medida que las palmas tuvieron más edad y se acercaron a su máximo productivo y al efecto global de la fertilización NPK. Los elevados CV de alrededor de 50 % enmascara el efecto de los tratamientos; también indican que la producción en RFF es muy variable y que la producción aun no está estabilizada. Coeficientes de variación altos son comunes en experimentos con palma de aceite. Desafortunadamente son pocos trabajos donde se reporta este estadístico. Así, Pérez *et al*, (2005) en una plantación de palma de aceite de 7 años de edad ubicada en Jalapa, Tabasco, donde no se encontraron diferencias significativas a la fertilización; reportaron un

rendimiento promedio de RFF de  $16.7 \text{ t ha}^{-1}$  y un  $\text{CV} = 43.8$ . En el presente estudio, para haber encontrado diferencias estadísticas entre los tratamientos tendría que haberse registrado una diferencia mínima significativa (DMS) de  $6.36 \text{ t ha}^{-1}$  en el año 2007 y de  $13.62 \text{ t ha}^{-1}$  en 2008. Esto indica que a mayor rendimiento, mayor es la DMS requerida para encontrar diferencias estadísticas entre los tratamientos, ya que el CV se mantiene muy elevado.

Según Ollagnier y Olivin (1984) los experimentos sobre fertilización en palma de aceite requieren varios años de evaluación para encontrar respuesta a los diferentes tratamientos, aunque otros autores indican que la falta de respuesta se debe a la heterogeneidad del suelo (Goh y Alwi, 1988). De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio se puede decir que los CV elevados son un reflejo de la alta variabilidad genética que presentan las palmas de aceite, dado que son híbridos provenientes de cruce sexuales que presentan mucha segregación y al tamaño del experimento que fue de  $1.5 \text{ ha}$  aproximadamente.

En esta parcela experimental, el mayor rendimiento ( $27 \text{ t ha}^{-1}$  de RFF) y el mejor margen de ganancia económica bruta ( $\$ 31,482.40$ ), se obtuvieron con la dosis 90-60-180. La cual no coincide con lo observado en el diagnóstico nutricional de la planta, que indica que la dosis 60-90-120, es nutrimentalmente equilibrada para el cultivo de palma de aceite, ya que complementa los aportes del suelo, proporcionando  $\text{K} > \text{P} > \text{N}$  (Mite et al., 2002). En varios experimentos sobre fertilización en palma de aceite, otros autores tampoco han encontrado relación entre las dosis experimentales con los rendimientos obtenidos (Pérez *et al.*, 2005; Mite et al., 2002; Cruz y Ramírez, 1984).

**Cuadro 18. Rendimiento de RFF de palma de aceite bajo diferentes tratamientos de fertilización, costos de las dosis y margen de ganancia en 2008. Parcela Filadelfia, Palenque Chiapas.**

Tratamiento N-P-K	Rendimiento RFF (t ha <sup>-1</sup> )		Costo dosis (\$ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Margen \$ <sup>z</sup>
	2007	2008		
60-30-120	9.70 a	19.97 a	5,461.30	24,493.70
120-30-120	11.50 a	22.26 a	6,543.90	26,846.10
60-90-120	13.08 a	21.20 a	9,783.90	22,016.10
120-90-120	12.51 a	20.79 a	10,866.50	20,318.50
60-30-240	10.95 a	21.03 a	7,678.70	23,866.30
120-30-240	10.36 a	20.53 a	8,761.30	22,033.70
60-90-240	12.72 a	19.92 a	12,001.30	17,878.70
120-90-240	12.93 a	20.3 a	13,083.90	17,366.10
<b>90-60-180</b>	<b>10.70 a</b>	<b>27.17 a</b>	9,272.60	31,482.40
150-60-180	9.03 a	25.74 a	10,355.20	28,254.80
90-120-180	9.54 a	21.70 a	13,595.20	18,954.80
90-60-300	9.69 a	21.19 a	11,490.00	30,295.00
<b>Media</b>	11.06	21.81		
<b>Pr&gt;F</b>	0.23	0.80		
<b>C.V. (%)</b>	49.11	53.30		
<b>DMS</b>	6.36	13.62		

Dentro de columnas, literales iguales indican igualdad estadística (Tukey P≥0.05).

Precio medio rural de la tonelada de RFF \$1,500.00

No incluye el costo de mano de obra para aplicación.

<sup>z</sup> Margen económico bruto en el año 2008; no contempla los costos de otras labores de cultivo.

Por lo anterior, la dosis 90-60-180 se considera de manera preliminar como la más adecuada para suelos Luvisoles háplicos. Independientemente del rendimiento más alto de RFF obtenido en 2008, pues pueden presentarse variaciones anuales importantes en los rendimientos, pero a mediano y largo plazo esta dosis responde a la demanda del cultivo y restituye los elementos extraídos del suelo.

## **5.6. Rendimiento de RFF y costos de fertilización en la parcela Chancalá-Zapote.**

En Chancalá-Zapote no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos de fertilización en ambos años de evaluación. Los rendimientos promedio fueron 19.8 y 40.8 t ha<sup>-1</sup> de RFF. Lo cual refleja que este sitio es de mayor productividad que Filadelfia. El coeficiente de variación de los rendimientos de RFF fue de 44.0 en 2007 y de 25.6 en 2008; aunque estos CV son algo menores que los encontrados en Filadelfia, reflejan que los rendimientos aun no se estabilizan por lo que no es posible detectar diferencias significativas entre los tratamientos. Los rendimientos obtenidos en 2008 superan los reportados por Pérez *et al*, (2005) y Cruz y Ramírez (1984).

En Chancalá-Zapote, el mayor rendimiento (45 t ha<sup>-1</sup> de RFF) y el mejor margen de ganancia económica bruta (Cuadro 19), se obtuvieron aparentemente con la dosis 60-30-120. La cual no coincide solo para el P con lo observado en el diagnóstico nutricional de la planta, que indica que la dosis 60-90-120, es nutrimentalmente equilibrada para el cultivo de palma de aceite, ya que complementa los aportes del suelo, proporcionando K>P>N.

Aunque en el norte de Chiapas el precio medio rural por tonelada de RFF ha aumentado gradualmente llegando en 2008 a \$1,500.00, el costo de los fertilizantes se ha incrementado en más de 100% a partir de 2006. Este fenómeno debe tomarse en cuenta para determinar la dosis más recomendable tanto nutricional como económicamente; en este estudio se consideraron las necesidades del cultivo, el costo de las dosis y el beneficio económico obtenido.

**Cuadro 19. Rendimiento de RFF de palma de aceite bajo diferentes tratamientos de fertilización, costos de las dosis y margen de ganancia en 2008. Parcela Chancalá-Zapote, Palenque Chiapas.**

Tratamiento N-P-K	Rendimiento RFF (ton ha <sup>-1</sup> )		Costo dosis (\$ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Margen \$ <sup>z</sup>
	2007	2008		
<b>60-30-120</b>	<b>19.50 a</b>	<b>45.18 a</b>	5,461.30	62,398.70
120-30-120	19.79 a	43.12 a	6,543.90	58,136.10
60-90-120	20.25 a	36.88 a	9,783.90	45,416.10
120-90-120	16.60 a	42.77 a	10,866.50	53,288.50
60-30-240	22.91 a	41.02 a	7,678.70	53,851.30
120-30-240	20.60 a	39.67 a	8,761.30	50,743.70
60-90-240	21.10 a	41.17 a	12,001.30	49,753.70
120-90-240	22.90 a	41.67 a	13,083.90	49,421.10
90-60-180	16.87 a	40.76 a	9,272.60	51,867.40
150-60-180	20.78 a	38.48 a	10,355.20	47,364.80
90-120-180	18.67 a	40.71 a	13,595.20	47,469.80
90-60-300	19.96 a	38.22 a	11,490.00	45,840.00
<b>Media</b>	19.84	40.80		
<b>Pr&gt;F</b>	0.37	0.66		
<b>C.V. (%)</b>	44.02	25.66		
<b>DMS</b>	10.23	12.26		

Dentro de columnas, literales iguales indican igualdad estadística (Tukey P≥0.05).

Precio medio rural de la tonelada de RFF \$1,500.00

No incluye el costo de mano de obra para aplicación

<sup>z</sup> Margen económico bruto en el año 2008; no contempla los costos de otras labores de cultivo.

Es sabido que al aumentar las dosis de fertilización, los costos del fertilizante serán más altos, sin embargo, en este estudio el rendimiento de RFF no muestra relación con las dosis experimentales. Por ello, de modo preliminar se considera como la más adecuada para este tipo de suelos la dosis 60-30-120 la cual representa la mínima inversión y aporta los nutrimentos de manera balanceada (excepto el P), de acuerdo a la necesidad nutricional del cultivo, restituyendo los elementos extraídos del suelo a fin de mantener productivas las plantaciones a mediano y largo plazo. La dosis 60-30-120, además de cumplir el criterio anterior, es la más económica y la más conveniente para suelos Leptozoles réndzicos, los cuales de manera natural, contienen más nutrimentos que otros tipos de suelo, por lo cual se aportan menores cantidades de fertilizantes a la plantaciones.

Aun cuando en 2008 se obtuvieron los más altos rendimientos de RFF aparentemente con la dosis más baja, se debe considerar que pueden presentarse variaciones anuales en la productividad del cultivo. Si al utilizar la dosis 60-30-120 en el suelo de tipo Leptosol réndzico, se presenta deficiencias de P, se debe utilizar la dosis 60-90-120.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Los estudios del suelo, indican que la parcela Filadelfia se ubica en un Luvisol háplico, mientras que la parcela Chancalá-Zapote se encuentra en un Leptozol réndzico, siendo este último el que presenta mayor fertilidad natural y por ende mayor productividad.

Después de tres años de fertilización experimental y muestreos foliares en la parcela Filadelfia, se concluye que respecto a la concentración foliar NPK no se encontraron diferencias significativas por efecto de los tratamientos. Se registraron aumentos acumulativos leves en las concentraciones foliares, los cuales no tienen relación directa con las dosis aplicadas, lo que puede obedecer a la interacción de los nutrientes. El K foliar se mantuvo en un rango deficiente a lo largo de 3 años y ninguna dosis evaluada logró llevar la concentración foliar al nivel óptimo. El N alcanzó en 2008 concentraciones muy por arriba del nivel óptimo por un efecto acumulativo del nutriente en las palmas. Al evaluar la concentración foliar NPK entre años, a nivel de la parcela, independientemente de los tratamientos, si se encontraron diferencias significativas debido a un efecto acumulativo, pero en ningún caso se observaron efectos debidos a las dosis experimentales.

En la parcela Chancalá-Zapote, tampoco se encontraron diferencias significativas entre tratamientos respecto a las concentraciones foliares de NPK. Resalta el hecho que a lo largo de los tres años de experimentación se registró un incremento gradual en la concentración del K foliar, desde un nivel de franca deficiencia hasta el nivel óptimo. Sin embargo, este incremento del K foliar fue generalizado en la parcela y no se logró establecer una relación con las dosis experimentales de fertilización. El N y P se mantuvieron en niveles óptimos en la parcela.

Al evaluar durante dos ciclos el efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de RFF, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en ninguna parcela

experimental; en cambio, si se observaron efectos agronómicos con la aplicación de fertilizantes.

En la parcela Filadelfia se obtuvo un incremento medio aparente de  $10.75 \text{ t ha}^{-1}$  de RFF, al pasar de  $11 \text{ t ha}^{-1}$  a casi  $22 \text{ t ha}^{-1}$  en el segundo año de cosecha con la dosis 90-60-180. A fin de mantener los costos de fertilización en el nivel mínimo, en este caso la dosis recomendable para el cultivo de palma de aceite establecido en suelos de tipo Luvisol háplico es 90-60-180 con un costo en 2008 de \$9,272.60 por hectárea.

En el caso de la parcela Chancalá- zapote, la mejora aparente al rendimiento de RFF fue de casi  $21 \text{ t ha}^{-1}$ , al pasar de  $19.8 \text{ t ha}^{-1}$  en 2007 a  $40.8 \text{ t ha}^{-1}$  en 2008 con la dosis 120-90-240 y 60-30-120; como se mencionó anteriormente en una comparación dosis-rendimiento, los costos tienen un efecto negativo respecto a las ganancias obtenidas, por lo cual lo más recomendable para el cultivo de palma de aceite en suelos de tipo Leptozol réndzico es usar la dosis 60-30-120, la cual mantuvo un costo de \$5,461.30 por hectárea en 2008.



## 7. LITERATURA CITADA

- Akbar, U; Tampubolon, F.H; Amirudin D; Ollagnier M. 1976. Fertilizer experimentation on oil palm in North Sumatra. Conference international oil palm. Art no 8(2):305-316.
- Alcazar, G. G., Etchevers, B, J.D., Aguilar S .A. 1999. Los análisis físicos y químicos, su aplicación en agronomía. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillos 1era edic. 125 p.
- Aniame 2004. Revista de la Asociación Nacional de Industriales de Aceite y Mantecas Comestibles A.C. 9(45):35-38.
- ARAB, 2001. Identifying & Treating nutrient deficiencies and other disorders in the oil palm (*Elaeis Guineensis*) Pocket Guide. [www.arabis.org](http://www.arabis.org). 21 p.
- Barcelos. E; Chailard, H.;Nunes, C.D.M.; Macedo, J.L.V.; Rodrigues, M. do R. L.;Cunha, R.N.V. de; Tavares, A.M.; Dantas, J.C.R.; Borgues, R. de S.; Santos, W.C dos. 1995. Dende. Brasilia:Embrapa-SPI. (Colecao plantar, 32). p 10-11.
- Barrios, R; Arteaga, A; Florentino, A; Amaya, G. 2003. Evaluación de sistemas de subirrigación y de aspersión en suelos cultivados con palma de aceite. Revista UDO Agrícola 3 (1):39-46.
- Bastos, T. X. 2000. Aspectos Agroclimáticos do dendezeiro na Amazonia Oriental. Embrapa Amazonia oriental/Manaus: Embrapa Amazonia occidental. p . 47-59.
- Bastos, T.X., Muller, A.A., Pacheco N.A., sampaio, S.M., Assad, E.D., Marquez, A.F.S. 2001. Zoneamento de risco climático para a cultura do dende no estado do para: Resultados preliminares. Amazonia. Belem. p. 213-216.
- Broschat, T. K. 2005. Nitrogen deficiency in palms. University of Florida, IFAS Extension. <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Broschat, T.K. 1994. Removing potassium-deficient leaves accelerates rate of decline in pygmy date palms. Tropicline. 1:7.
- Chan, K.W., Rajaratman, J.A. 1976. Magnesium requirement of oil palms in Maylasia. 45 years of experimental results. international development. p. 371-388.

- Chan, K.W. 1982. Phosphorus requirement of oil palm in Malaysia:fifty years of experimental results. Malaysia Society of Soil Science, Kuala Lumpur. p. 395-423.
- Chan, K.W., K.C. Lim., A. Ahmad. 1993. Fertilizer efficiency studies in oil palm. International Palm Oil Conference, Modulo I- Agriculture, PORIM, Kuala Lumpur. p. 302-311.
- Clines, M.G. 1994. Principles of soil sampling. Soil. Sci. 58:275-288.
- Conceicao, H.E.O da; Muller, A. A. 2000. Botánica e morfología do dendezeiro. In: Viegas, I. de J.M; Muller, A.A. Ed. Acultura do dendexeiro na amazonia Brasileira. Belem: EMBRAPA amazonia Oriental/Manaus: EMBRAPA Amazonia Occidental. p. 31-45.
- COPLANTA, 2006. [www.coplanta.chiapas.gob.mx/estrategicas.htm](http://www.coplanta.chiapas.gob.mx/estrategicas.htm). 15/10/2006.
- Corley, R.H.F. y Mok, C.K. 1972. The effects of nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium on growth of the oil palm. Expl. Agric. 8: 347-353.
- Cruz, M, R; Ramírez, Z, R., 1984. Determinación de la ecuación de respuesta (N,P,K) de la palma africana en la costa de Chiapas. XV Congreso Nacional, Terra No 2. p. 171-174.
- Cuanalo de la C., H. 1990. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. 3era. ed. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 40 p.
- Díaz, M, D, H. 2002. Fisiología de árboles frutales. Edición 1ª, Editorial AGT. México D.F. 390 p.
- Donough, C. R. 2008. Manejo de la nutrición y fertilización de la palma aceitera. Informaciones Agronómicas. No 69, p. 1-9
- Durán N.; Salas, R.; Chinchilla, C.; Peralta, F. 1999. Manejo de la nutrición y fertilización en palma aceitera en Costa Rica. XI Congreso Nacional Agronómico, ASD Costa Rica.
- Fairhurst, T.; Hardter. R. 2003. Management for large and sustainable yield. PPI/PPIC, Singapure. Edic. 1ra. 384 p.
- FAO, 2006. World reference base for soil resources. A framework for international clasification, correlation and communication. 2da edition. World soil resources reporte No. 103. Roma. 127 p.
- FONAIAP, 1983. Resultados de investigación en palma africana. Divulgación No 09. 8 p.

- Forde, St. C.M., Leyritz, M.J.P. y Sly, J.M.A. 1965. The role of potassium in the nutrition of oil palm in Nigeria. *J Niger. Inst. oil palm Res.* 4:333-369.
- Fundora. O ; Magaly Valdés ; R. Rubio ; J. Cuellar ; R. Brunet. 1983. El potasio en la agricultura cubana. Primera Reunión Nacional de Agroquímica. Ponencias, Ciudad de la Habana, 27-29 mayo 1983. - Dirección Agrícola A.C.C., - p. 15-16.
- Goh, K.H. and A. Alwi, 1988. Uniformity trials with oil palms in Malaysia. In: *Oil Palm/Palm Oil Conf.: Progress and Prospects* (Eds.) Halim, A.H. P.S. Chew, B.J. Wood and E. Puspharajah. Palm Oil Research Institute of Malaysia and International Society of Planters, Kuala Lumpur p: 667-684.
- Goh, K-j, R. Hardter and T.H. Fairhurst, 2003. The Oil Palm- Management for Large and sustainable Yield (in press). In Fairshurst, T.H. and R. Hardter, eds. Singapore: Potash & Phosphate institute of Canada (PPIC) 8 p.
- Goncalves, A.C.R. 2001. Dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jack). In: Castro, P.R.C.; Kluge, R.A. (coord). *Ecofisiología de culturas atractivas: cana-de-acucar, seringueira, coqueiro, dendezeiro e oliveira*. Cosmópolis: Stoller do Brazil. p. 95-112.
- González L.V.W., E. Ortiz C., A Sandoval E., A. Olivera de los S., E. Dominguez C., L.N. Avila., A., A. Alejo J.A Palacios y P. M.A Coutiñon F. 1999. Tecnología para la producción de palma de aceite (*Elaeis Guineensis* Jacq.) en México. INIFAP-CEHUI. México, D.F.151 p.
- Green, A.H. 1972. The manuring of oil palm in the field-past results. *Oleagineux.* 27: 419-423.
- Hamdan AB, Ahmad Tarmizi M y Mohd T. 1998. Empty fruit bunch mulching and nitrogen fertilizer amendment: The resultant effect on oil palm performance and soil properties. *PORIM Bulletin* No 37, 1-14
- Hart, R. D. 1985. Conceptos básicos sobre agroecosistemas. Centro Agronómico tropical. Turrialba, Costa Rica 23 p.
- Hartley, C.W.S.1977. The oil palm. 2<sup>nd</sup>. Ed. Longman, London. p.806
- Hartley. C.W. 1983. La palma de aceite, Editorial continental, México, D.F. 958 p.
- Hartly, C.W.S. 1998. Oil palm (*Elaeis guineensis*). The Australian, New Crop Newlester. Issue No 10. Papua New Guinea. 1 p.
- ICA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, 1978. Palma Africana de Aceite. Centro experimental Palmira. Manual Técnica No 22. Colombia. 453 p.

- IFA, 1992. World Fertilizer use manual. International Fertilizer Industry Association. Germany. 632 p.
- INEGI. 2005. Anuario estadístico de Tabasco INEGI y Gobierno del estado mapas. Aguascalientes, Aguascalientes.
- INPOFOS, 2006. Palma Aceitera, manejo de nutrientes y fertilización en la fase madura. [www.inpofos.org/ppiweb/ltamn.nsf](http://www.inpofos.org/ppiweb/ltamn.nsf) Consulta 15/10/2006.
- Kamara, K, A, 2001. Nutrición, regulación del crecimiento y desarrollo vegetal. Buena vista, Saltillo, Coahuila, 14 p.
- Kee, K.K., Goh, K.J. 2006. Efficient fertilizer management for higher productivity and sustainability in oil palm production: Higher productivity and efficient practices for sustainable plantation Agriculture (vol. 1) Society of planters, Kuala, Lumpur, p. 157-182.
- Kim, L,C; Zaharah A, R. 2002. The effects oil palm empty fruit bunches on oil palm nutrition and yield, and soil chemical properties. Journal of oil palm Research, 14(2):1-9.
- Larez, C.R., 2003. TRADUCCION DEL: AGRICULTURAL FIELD MANUAL Oil Palm (*Elaeis guineensis*) Fondo para la Investigación en Palma Aceitera. Parcelamiento El Zamuro, Venezuela Maturín 89 p.
- Lorenzi, H.; Souza, H.M. de; Costa, J.T. de M. .; Cerqueira, L.J.C. de; Ferreira, E. 2004. Palmeiras brasileiras e exóticas cultivadas. Nova Odessa: Instituto Plantarum, p.11-32.
- Macedo, J.L.V., Rodriguez, M.R.L. 2000. Solos de Amazonia e o cultivo do dendezeiro. Belem Embrapa, Amazonia oriental-occidental. p. 73-87.
- 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, traducción al español de la 4ta edición (1987). 692 p.
- Mite, F. Carrillo, M. Espinosa, J. 1999. Influencia de la fertilización y el riego sobre el desarrollo, nutrición y rendimiento de la palma africana en la zona de Quevedo. Artículo de INPOFOS. América latina.
- 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. Artículo de INPOFOS, p 4.
- Mollegaard, H. 1971. Results of fertilizar trail on mixed colluvial alluvial soil at Ulu Beram estate in West Malaysia. Oleagineux. 26:449-453.

- Mutert, B, E. 1999. Suitability of soils for oil palm in Southeast Asia. *Better Crops Internacional*, 1:36-38.
- Mutert, E, W. 1999. La palma aceitera, el cultivo dorado de los trópicos. *Informaciones Agronómicas No 29*. Instituto de la Potasa y el Fosforo. 4 p.
- Mutert, E. W. 2001. Nutrient management for oil palm. In: *Strategic Directions for the Sustainability of the Oil Palm Industry* (E Pushparajah, ed.), Incorporated Society of planters, Kuala Lumpur.
- Mutert, E.W., 1998. El potasio en la palma aceitera. *Informaciones agronómicas No.30*. Instituto de la potasa y el fosforo, Quito, Ecuador.
- Nair, A. M; Seedharan, C. 1981. Oil Palm Nutrition. *Journal of Plantation Crops* 9 (2): 66-76.
- Nair, A; Sreedharan, C. 1983. Études sur la nutrition du palmier á huile: Relations entre les teneurs en éléments minéraux des tissus et le rendement et ses composants. *Oleagineux* 38 (1): 1-5.
- Navarro, G, G; Navarro S, B; 2003. *Química Agrícola*. Ediciones Mundi-Prensa, México, D.F. 487 p.
- NG, S.K. 2002. Nutrition and Nutrient Management of the Oil Palm – New Thrust for the Future Perspective Perak Malaisa. p. 415-429.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. 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.
- Obando R. 1999. Memoria del Foro tecnológico del cultivo de la palma de aceite. Aspectos botánicos de la palma aceitera. ASD de Costa rica 150 p.
- Ochs, R., Olivin, J. 1976. Research on mineral nutrition by the IRHO. Eds Oil Palm –research. Elsevier Scientific Publishing. 28 p.
- Oliveira, J, S, S, 2006. Productividade de óleo de palma na cultura do dende na amazonia oriental: influencia do clima e do material genético. Tesis de Maestría en C. Universidad Federal de Vicosa, Brasil. 60 p.
- Ollagnier, M. and Ochs, R., 1981. Management of mineral nutrition on industrial oil palm plantations – fertilizer savings. In: E. Pushparajah and P.S. Chew (Eds.) *The oil palm in agriculture in the eighties*. Vol II., Inc. Soc. Planters, Kuala Lumpur. 12 p.
- Ollagnier, M., Ochs, R., and Martin, G. 1970. Manuring of oil palms in the World. *Fertilite*. 36:3-63.

- Ollagnier, M., Olivin, J. 1984. Effects de la nutrition sur la production. Progres génétiques et effets de la nutrition sur la qualité d l'huile de palme. *Oleagineux* 39(8/9):401-407).
- Ortiz-Villanueva, B. y C. A. Ortiz-Solorio. 1987. Edafología. 6ª edición. Universidad Autónoma Chapingo. México. 372 p.
- Palma-López D.J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J.A. Rincón-Ramírez. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México.
- Palma-López D.J., J. Cisneros D. 1997. Clasificación y cartografía de los suelos con aptitud para el cultivo de palma de aceite (*Elaeis Guineensis* jacq.) en el estado de Tabasco. Fundación Produce, Tabasco.
- Peralta, F.; Vázquez, O.; Richardson, D.L.; Alvarado, A.; Bornemiza, E. 1985. Effect of some soil physical characteristics on yield, growth and nutrition of the palm in Costa Rica. *Oleagineux*, Paris, 8/9:423-430.
- Pérez-Peralta C; Castelán-Estrada M; Salgado-García S; Palma-López D. 2005. Estado nutrimental NPK en palma de aceite en Jalapa, Tabasco. Memorias de la XVIII Reunión Científica-tecnológica forestal y agropecuaria Tabasco 2005. p 466-472.
- Porta J, López-Acevedo M y Roquero, C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente, 3ª Edición. Edición Mundi-prensa, España, 960p.
- Rahman Z.A., Rahman B. A. 2004. Evaluating urea fertilizer formulations for oil palm seedlings using the <sup>15</sup>N isotope dilution technique. *Journal of Oil Palm Research* Vol. 16 No. 1, p 72-77.
- Rahman, Z. A., Kim, C. L. 2002. The effects oil palm empty fruit bunches on oil palm nutrition yield, and soil chemical properties. *Journal of oil palm research* vol 14 num 2 p 1-9.
- Ramírez, F.; Chinchilla, C.; Bulgarelli, J. 2002. Asociación entre bajos contenidos de fósforo en el suelo y una reducción del diámetro del tronco de la palma aceitera. *ASD-Oil Palm. Papers* No 23, p. 27-30.
- Rankine I; Farhurst, T.H. 1999. Management of phosphorus, potassium and magnesium in mature oil palm. *Better Crops International* 1:135pp.
- Raygada Z,R. 2005. Manual técnico para el cultivo de la palma aceitera. Edición 1ª. 109 p.
- Roberts, T. L., Henry, J. L. 2001. El muestreo de suelos: Los beneficios de un buen trabajo. *Informaciones Agronómicas*. 42:4-5.

- Rodríguez, S. F. 1982. Fertilizantes. Nutrición vegetal. Edición 1era. D.F, México. 157 p.
- Rodríguez, 1993. La fertilización de los cultivos. Un método Racional. Colección en Agricultura, Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. 287 p.
- Rosenquist, E.A.1962. Fertilizer Experiments on oil palms in Malaya. Part I. yield data. J. W. Afr. Inst. Oil Palm Res. 3:291-301.
- SAGARPA, 2000.Evaluación de la Alianza para el Campo 2000. Programas de Fomento Agrícola, Fomento Ganadero, Sanidad Agropecuaria y Transferencia de Tecnología. p 15.
- Salgado, G. S., D.J. Palma L. Y J. Cisneros D. 1999. Manual de procedimientos para el muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación en cultivos tropicales. Campus Tabasco, CP-ISPROTAB. Villahermosa, Tab. 76p.
- Sánchez P. A 1981. Suelos del trópico: Características de manejo. Traducido del inglés por Edilberto Camacho. Instituto Interamericano de cooperación (IICA). San José, Costa Rica. Wiley 549 p.
- SIAP, 2007. Producción Agrícola. Ciclo: cíclicos y perennes. Modalidad: temporal palma africana o de aceite. <http://www.siap.gob.mx/>.
- Sisworo, E.L., Sisworo, W.H., Rasjid, H.H., Rizal, S. 2004. The use of <sup>32</sup>P and <sup>15</sup>N to estimate fertilizer efficiency in oil palm. Atom Indonesia.1:1-7 sobre recursos mundiales de suelos 84. Roma, Italia. 98 p.
- Soh, A.C., Lee, C.H., Yong, Y.Y., Chin, C.W., Tan, Y.P., Rajanaidu, N., y Phuah, P.K. 1989. The precision of oil palm breeding experiments in Malaysia. Palm Oil Research Institute of Malaysia (PORIM). 41-50.
- Stevenson, F.J. 1992. Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reaction. 2<sup>nd</sup> Ed. John Wiley & Sons,. New York. 496 p.
- Surre, C., Ziller, R. 1969. La palmera de aceite. Barcelona: Ed. Blume. pp. 11-28.
- Taillez, B. 1971. la système racinaire du palmier à huile sur la plantation de San Alberto (Colombia). Oléagineux, 26:435 p.
- Tan, K.S. 1973. Fertilizer trials on oil palms in inland soils in Dunlop Estates. In advances in oil palm Cultivation. Eds. R.L. Wastie and D.A. Earp. Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur. p. 24-279.
- Tarmizi, A, M; Mohd T, D. 2006. Nutrient demandas of Tenera oil palm plante don inland soils of Malasia. Malasia palm oil Board. Journal of oil palm research 18:204-209.

- Tarmizi, A.M., M.D. Tayeb and Z.Z. Zin, 1992. Maximum yield of oil palm in Peninsular Malaysia: Yield response and efficiency of nutrient recovery. In: Proceedings of 1990 ISOPB Workshop on Yield Potential in the Oil Palm. Thailand. pp: 145-153. International Society of Oil Palm Breeders and Palm Oil Research Inst. of Malaysia, Kuala Lumpur.
- Teuscher, H; Adler, R. 1979. El suelo y su fertilidad. 4ta Impresión, Edición, Reinhold Publishing corporation- New York. 510 p.
- Van der Vossen, H.A.M.1970.Nutrient status and fertilizer responses of oil palms on different soils in the forest zone og ghana. Ghana J. Agric. Sci. 3: 109-129.
- Vieira C, A; Rodríguez A, B,J; Massena, R, V. 2006. Resposta do dendezeiro á adiÇão de nitrogênio e sua influencia na populaÇão de bacterias diazotróficas. pesq. Agropec. Brasilia. 2:293-300.
- 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.
- Von uexkÜll. H.R; Fairhurst, T.H. 1999. Some nutritional disorders in oil palm. Better Crops International. 13(1):170.
- Walker, W.M; Melsted, S.W. 1971. Effects of N, P,Mg, K and soil upon oil palm yields in Sierra Leone. Trop. Agric. 5 :237-243.
- Warren, G.P; Kihanda, F. M. 2001. Nitrate leaching and absorpci3n in a Kenia nitisol. Soil use and Management 17, p222-228.
- Warriar, S.M. y Piggot, C.J. 1973. Rehabilitation of oil palms by corrective manuring based on leaf analysis.. In advances in oil palm cultivation. Eds. R.L. Wastie and D.A. Earp. Incorporated society of planters, Kuala Lumpur. p. 289-305.
- Williams, C. N. 1975. Oil palms (*Elaeis* spp.). In: The agronomy of the major tropical crops. , London, England, Oxford University press. p 168-184.
- Wood, B., and R. Corley. 1991. The energy balance of oil palm cultivation. Proceedings 1991 PORIM International Oil Palm Conference, Kuala Lumpur, PORIM.
- WRB, 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. 2007. 2da Edici3n, Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos 103, FAO, ROMA.



## **8. ANEXOS**

## A1 Perfil 1 de la parcela Filadelfia, Chiapas

Perfil: 1

Clasificación: Luvisol háplico (LVha)

Descrito por : José Jesús Obrador Olan, Alberto Cordova Sánchez, Mepivoseth Castellán Estrada,

Fecha: 06 de mayo del 2008

Localización: Ejido Filadelfia Coordenadas – Lat N 17°37'10.2"- Long O 91°55'49.9"

Elevación: 27 msnm

Relieve: Plano

Drenaje del perfil: Probablemente drenado

Flora nativa: presencia plantas herbáceas.

Flora cultivada: palma de aceite



Foto Perfil 1		Horizontes		Características																			
		A	Transición a la siguiente capa tenue ondulada; Húmedo en seco; color (10YR 3/1), sin motas; estructura moderadamente desarrollada de forma y tamaño, muy fina, muy delgada, poliédrica sub-angular; consistencia en húmedo muy friable no coherente, blando, no pegajoso, no plástico; textura, franco arenoso; poros numerosos, micros, finos y muy finos, horizontales y verticales, dentro y fuera de los agregados y tubulares; permeabilidad rápida; raíces Abundante, fina, delgada, media y gruesa; fauna, Termitas (comején); Probablemente drenados; pH 5.74; temperatura 30.4°.																				
		B1	Transición tenue ondulada, húmedo en seco; color 10 YR 3/2 motas 10YR6/8 tenue, pocas, muy finas; textura migajón arcilloso arenoso; estructura moderadamente desarrollada poliédrica sub-angular; consistencia en seco duro, no pegajoso y no plástico; cutanes de eluviación zonales, delgados, entre poros y canales de raíces, óxido de hierro, poros numerosos, micros, finos y muy finos, horizontales y verticales, dentro y fuera de los agregados y tubulares, caóticos; permeabilidad lenta; raíces abundante, fina, delgada, media y gruesa; fauna termitas y lombrices; pH 6.61; temperatura 29.2°.																				
		Btg2	Transición tenue horizontal; ligeramente húmedo; color Gleyl 6/5GY; motas 10YR 6/8 prominentes, muchas, finas, medias y grandes; textura arcilloso; no presenta pedregosidad; estructura moderadamente desarrollada, poliédrica sub-angular, fina, delgada a media; consistencia extremadamente duro, ligeramente pegajoso, muy plástico; cutanes planchados por presión, continuos, espesos, en poros y cara de agregados, óxido de hierro; nódulos frecuentes, pequeños de color negro 10 YR 6/8, redondas, duros, óxido de hierro y manganeso; poros numerosos, micros, muy finos, continuos, horizontales y verticales, dentro y fuera de agregados, tubulares, espacios agregados intersticiales; permeabilidad lenta, raíces comunes, delgadas y medias, fauna no presenta pH 6.6; temperatura 28.8°.																				
		Btg3	Transición marcada ondulada; húmedo en seco; color gleyl 6/5 GY y motas 10YR 6/8 marcadas, abundantes, comunes, medias y grandes; no presenta pedregosidad; estructura moderadamente desarrollada, poliédrica sub-angular, muy fina, muy delgada, consistencia extremadamente duro, ligeramente pegajoso, muy plástico; cutanes Planchados por presión, continuos, espesos, en caras de agregados, con óxido de hierro; nódulos muy pocos, muy pequeños, color negro, blandos, probablemente óxido de fierros y manganeso; poros frecuentes, micros, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares, espacios intersticiales entre agregados; permeabilidad lenta; raíces pocas, delgadas y medias; pH 6.98; temperatura 28.4.																				
		Btg4	Transición marcada ondulada; húmedo, color Gleyl 8/n y motas 10YR 6/8 prominentes, pocas, finas, muy finas, medias; textura consiste en concentraciones posiblemente de carbonato o yesos, no presenta pedregosidad, estructura poliédrica sub-angular, muy grande a muy gruesas; consistencia extremadamente duro, no pegajoso, no plástico, presenta estratos endurecidos fuertemente endurecidos y continuos; cutanes Planchados por presión, discontinuos, moderadamente espesos en poros y caras de agregados y canales de raíces, óxido de hierro poros espacios intersticiales, entre agregados, frecuentes, finos, continuos, horizontales y verticales; permeabilidad rápida; raíces finas y raras; fauna no presenta; pH 5.0; temperatura 28.2°.																				
Horizonte Profcems		Textura		pH		MO		CIC		Ca		Mg		Na		K		Ntotal		P Olsen		CE	
		A%		H2O		%		cmol (+) kg-1		kg-1		kg-1		kg-1		mg kg-1		mg kg-1		ds m-1			
A	0-4/0-7	49	30	21	5.63	1.18	11	7.26	2.20	0.09	0.21	0.14	8.59	0.02									
B1	04/07-38/51	45	22	33	5.95	0.66	19	12.3	5.92	0.1	0.10	0.10	2.39	0.02									
Btg2	38/51-74	24	15	61	6.79	NSD	42.9	31.6	20.9	0.44	0.1	NSD	0.42	0.06									
Btg3	74-106/108	8	15	77	6.79	NSD	61.9	47.4	27.5	0.05	0.25	NSD	0.42	0.11									
Btg4	106/108-122	14	27	59	7.36	NSD	75.9	57.6	32.6	0.05	0.17	0.03	1.27	0.06									

## A.2 Perfil 2 de la parcela Chancalá- Zapote

Perfil: 2

Clasificación: Leptosol Réndzico (LPrz )

Descrito por: José Jesús Obrador Olán, Alberto Córdova Sánchez, Mepivoseth Castelán Estrada,

Fecha: 24 de mayo del 2008

Localización: Ejido Chancalá, Zapote, Palenque, Chiapas, Coordenadas: 17°24'20" Lat N y 91°53'30" Long O

Elevación: 300msnm

Relieve: Regular

Drenaje superficial: sitio donador, siempre drenado

FISIOGRAFIA: Plana con pendiente Con 5%

Material parental: Aluvial activo intermitente.

Flora nativa: Plantas herbáceas: momo, perejil, higuierilla.

Flora cultivada: palma de aceite



Foto Perfil 2		Características											
Horizonte		Características											
Horizonte	Prof.cms	Textura		pH	MO	CIC	Ca	Mg	Na	K	Ntotal	P Olsen	CE
		A%	L%										
Ap	0-15/25.5	32	23	7.72	11.4	36.9	46.2	3.24	0.12	0.64	0.66	4.93	0.24
CR	15/25.5-40/47	46	15	7.97	3.68	17	32.1	2.16	0.06	0.25	0.24	2.61	0.15
CR	40/47-68/70	16	9	.84	.9	.2	81	.39	.50	0.10	0.10	0.29	0.11
CR	18	29	53	.92	0	.8	40	.37	.40	0.07	0.07	0.29	0.10



### A.3 Perfil 3 de la parcela Chancalá- Zapote

Perfil: 3

Clasificación: Leptosol Rendzico (LPrz)

Localización: 17°24'20" Lat N y 91°53'30" Long O

Localidad: Ejido Chancalá Zapoté, Palenque, Chiapas.

Elevación: 300msnm

Relieve: Regular

Drenaje superficial: receptor

Fisiografía: Plana con pendiente de 5% y

Material Parental: Aluvial activo intermitente.

Flora Nativa: Plantas herbáceas: momo, perejil, higuierilla.

Flora cultivada: palma de aceite

OBSERVACIONES: evidencias de restos de carbono orgánico vegetal en la capa 1 y 2.

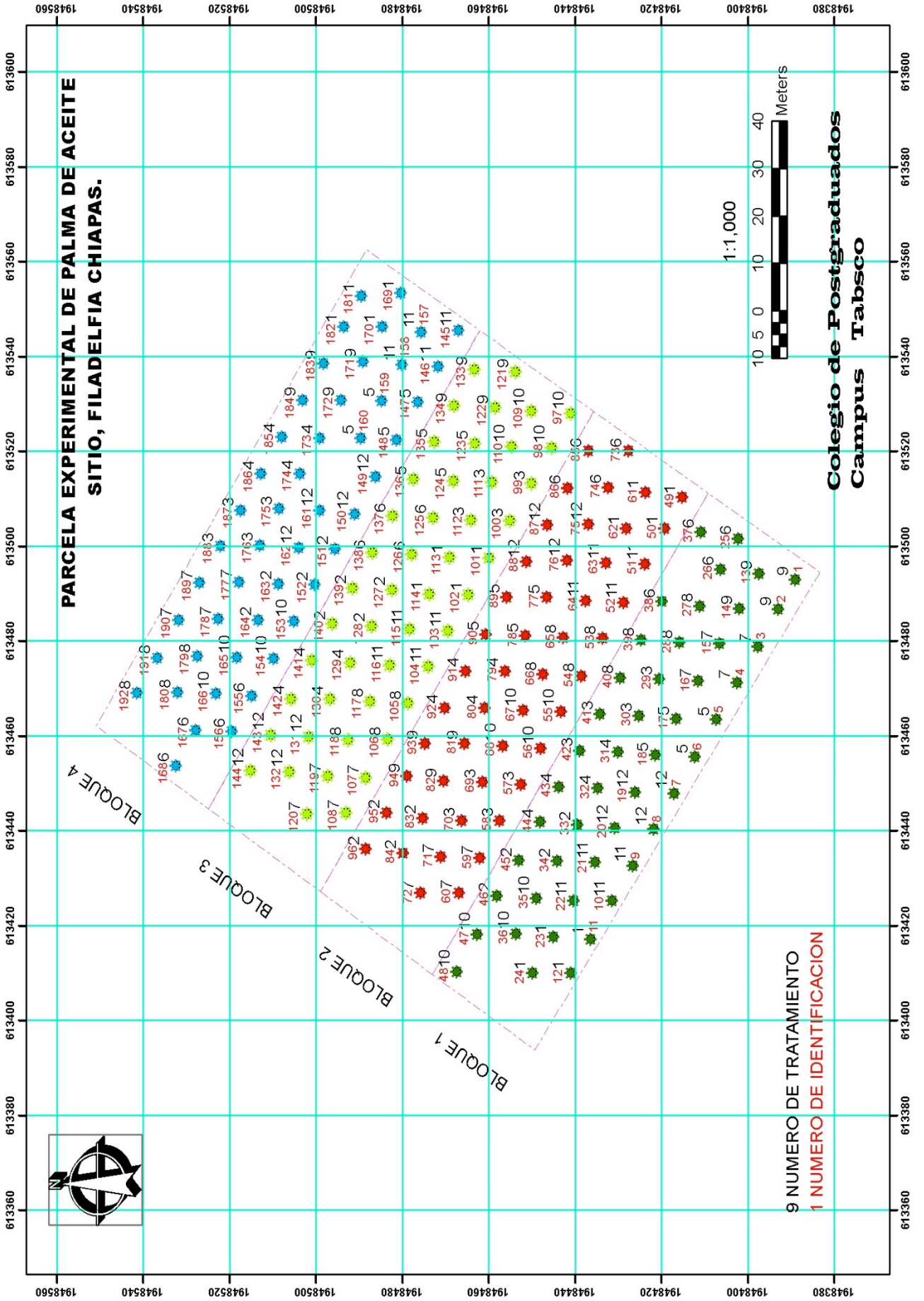
En capa evidencias de concha de caracol y huesos probablemente de peces



Foto Perfil	Horizonte	Características
	Ap	Transición a la siguiente capa marcada ondulada; ligeramente húmedo; Con color café muy oscuro 10YR/22 ; moteado color negro 10YR 2/1 tenues, pocos, muy finos; Textura arcillosa; no presenta pedregosidad; Estructura fuertemente desarrollada, poliédrica sub-angular, medianas, grandes; cutanes probable modo de formación por eluviación zonales, delgados en cara de los agregados y de naturaleza de minerales arcillosos, materia orgánica; consistencia duro en seco, pegajoso y plástico; cutanes por eluviación zonales, delgados en poros y canales de raíces, minerales arcillosos y MO; nódulos pocos, muy pequeños, blancos, poliédricos, sub-angulares, duros, carbonatos de calcio; reacción al peróxido ligera efervescencia; poros frecuentes, micros, muy finos, medianos y gruesas, continuos, verticales y horizontales dentro y fuera de los agregados, tubulares; permeabilidad moderadamente rápido; raíces abundantes, finas delgadas y medias; fauna lombrices y hormigas; pH 7.78; temperatura 27.4°.
	CR	Transición irregular, húmedo en seco; color café oscuro 10YR 4/3; textura arcilloso rocoso; pedregosidad extremadamente pedregoso, medianas, grandes y muy grandes; estructura moderadamente desarrollada, poliédrica, sub-angular, muy finas a delgadas; consistencia blando pegajoso y muy plástico; estratos endurecidos fuertemente endurecidos, quebrados, aglomerado; poros frecuentes, micros y muy finos, verticales y horizontales, tubulares; permeabilidad lenta; raíces comunes, medianas, delgadas y finas ; fauna lombrices; pH 7.58; temperatura 27.0°.

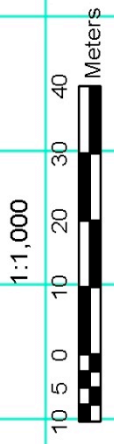
Horizonte	Profundidad cm	Textura		pH	MO %	CIC	Ca	Mg cmol (+) kg-1	Na	K	Ntotal mg kg-1	POlsen mg kg-1	CE ds m-1
		A%	L%										
Ap	0-18/22	24	15	7.98	6.17	32.9	38.1	5.60	0.15	0.66	0.35	3.91	0.18
CR	18/22-30/42	60	1	8.23	1.25	11	10.8	2.95	0.08	0.20	0.10	1.01	0.10

# A.4 Croquis de la parcela Filadelfia



**PARCELA EXPERIMENTAL DE PALMA DE ACEITE  
SITIO, FILADELFIA CHIAPAS.**

**Colegio de Postgraduados  
Campus Tabasco**



9 NUMERO DE TRATAMIENTO  
1 NUMERO DE IDENTIFICACION

# A.5 Croquis de la parcela Chancalá-Zapote

