

**Evaluación de enmiendas a suelos con niveles  
Altos de calcio en una plantación joven de palma  
Africana (*Elaeis guineensis*)**

**Vicente David Vásquez Granda**

**Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria  
ZAMORANO  
Noviembre, 2001**

## 1. INTRODUCCIÓN

La palma africana (*Elaeis guineensis jack*) es uno de los principales cultivos industriales para la extracción de aceite y grasa. Los aceites de palma son utilizados para la alimentación humana y una vez refinados se emplean en la fabricación de grasas vegetales (manteca y aceite) y margarinas. A pesar de que este aceite se utiliza como producto alimenticio, también se emplea en jabonería y en el laminado de chapas delgadas en siderurgia (Paz, 1.999). Además; el mismo autor sostiene que con este cultivo se obtienen los rendimientos más altos de aceite por unidad de superficie; pudiendo llegar a producir hasta 8 t de aceite/ha cuando las condiciones son favorables. Esto contrasta con la producción promedio de aceite para los siguientes cultivos: soya (400 kg/ha); algodón (850 kg/ha); girasol (800 kg/ha) y maní (600kg/ha). Esto permite apreciar que la eficiencia en la utilización de la tierra es de 10 a 20 veces mayor al utilizar la palma africana, en relación a otros cultivos, si se refiere estrictamente a producción de aceite.

La producción mundial de aceite de palma estimada en 1994 alcanza aproximadamente 14.5 millones de toneladas métricas (Oil World, agosto 1993. Citado por Ortiz y Fernández, 1994). Esta producción está comandada por Malasia e Indonesia, que son los principales productores de palma del mundo (Cuadro1). Malasia es el principal país productor y exportador de aceite con un 57% de la producción mundial y un 64% del total de las exportaciones para 1997 (Ortiz y Fernández, 1994).

En el Cuadro 1 se aprecia el área de producción en varios países de Latinoamérica para el cultivo de la palma de aceite. La tendencia ha sido a incrementar significativamente las plantaciones de palma en los últimos años debido a la rentabilidad de esta actividad y a la estabilidad de ingresos que brinda una plantación de palma africana ya que una vez que entra en la etapa de producción; la cosecha se realiza cada dos semanas debido a la desuniformidad en la maduración de los racimos. Esto se debe principalmente a que este es un cultivo monoico; es decir, las flores masculinas se desarrollan separadamente (en el tiempo) de las flores femeninas, pero siempre en la misma planta. Generalmente existen ciclos de producción de inflorescencias masculinas y femeninas que varían estacionalmente la producción (Ortiz y Fernández, 1994).

Recientemente, pese a que este cultivo es una alternativa para mitigar la pobreza, numerosas organizaciones ecologistas han protestado por la expansión tan acelerada que ha tenido este cultivo en Latinoamérica y Asia, ya que sostienen que este desarrollo está acabando con remanentes invaluable de bosque primario; es decir, que la expansión del cultivo, está causando daños irreparables al medio ambiente y se están perdiendo los últimos bosques tropicales en estado maduro que quedan en el mundo.

Las observaciones anteriores son totalmente válidas pero mientras estos grupos ecologistas no propongan alternativas que permitan mitigar la pobreza y a la vez conservar los remanentes de bosque que se encuentran en las áreas más pobres de

Latinoamericana y Asia, no se podrá detener la destrucción del bosque pese a que esto es una pérdida irreparable.

Cuadro 1. Producción mundial: aceite de palma, fruta fresca/ha y área en producción estimada, 1994 (a).

País	PRODUCCIÓN		
	Aceite (*1000 TM)	Aceite (TM/ha)	Área (* 1000 ha) (b)
Camerún	115	2.40	48
Ghana	94	2.81	34
Costa de Marfil	345	2.13	162
Nigeria	610	2.03	300
Zaire	109	1.40	78
Costa Rica	85	3.40	25
Honduras	82	2.73	30
Brasil	70	1.79	39
Colombia	315	2.81	112
Ecuador	185	2.43	76
Indonesia	3970	3.53	1124
Malasia	7550	3.58	2110
Filipinas	61	3.81	16
Tailandia	320	2.29	140
Salomón	32	4.32	7
Papua/N. Guinea	238	4.07	59
Otros países	401	2.14	187
Total mundial	14582		4546
Rdto. Promedio		3.21	

(a) enero/diciembre

(b) Sólo área comercial y producción

TM Toneladas métricas

\*Fuente: Oil World, agosto 20, 1993. Citado por Ortiz y Fernández, 1994.

### Ecología del cultivo

La palma africana requiere entre 1500 a 2500 mm de precipitación al año y deben estar bien distribuidos durante el año (Hartley, 1988 citado por Ortiz y Fernández, 1994). Si esto no ocurre y se presentan estaciones secas bien marcadas, el crecimiento y producción se ven afectados si el riego no es adecuado. La temperatura óptima para el cultivo no debe sobrepasar los 33°C. en promedio ni debe ser menor a 18°C. porque el crecimiento normal de la palma se detiene.

**Suelos.-** Uno de los elementos más importantes de este cultivo es el suelo porque las plantaciones de palma son perennes (20-25 años) y este es un factor que está ligado íntimamente con la producción y rendimiento de aceite. En cuanto a las propiedades químicas del suelo merecen especial atención la fertilidad y el pH junto con la

disponibilidad de nutrientes. Siendo los nutrientes esenciales el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Estos macronutrientes frecuentemente se encuentran en bajas cantidades en los suelos por lo que deben ser adicionados. El calcio (Ca), magnesio (Mg) y el azufre (S) también son necesarios para el adecuado crecimiento y desarrollo del cultivo (Ortiz y Fernández, 1994).

Según Ortiz y Fernández (1994) el grado de disponibilidad de todos estos nutrientes para el crecimiento de la palma está condicionado por los siguientes factores de suelo: Cantidad de elemento disponible, humedad y aeración, contenido de materia orgánica, pH, el balance de cationes y las características físicas del suelo entre las cuales las más importantes son textura y estructura. Se prefieren suelos de textura franca porque favorecen el crecimiento radicular y retienen cantidades adecuadas de humedad.

Además se debe hacer especial énfasis en la necesidad de contar con suelos bien drenados para este cultivo porque este constituye el principal factor no nutricional que limita de manera significativa el crecimiento y producción de aceite (Ortiz y Fernández, 1994). Estos autores señalan también la inconveniencia de tener un suelo excesivamente drenado debido a que este tipo de suelos facilita el lavado de nutrientes y la retención de agua es menor; pudiendo someter a la planta a un estrés hídrico aún cuando la precipitación se encuentre en cantidades adecuadas.

Según Ortiz y Hernández (1994) el drenaje es básico porque favorece la aeración del suelo, lo que beneficia a la flora microbiana que acelera la descomposición de materia orgánica a través de la mineralización de algunos nutrientes que se encuentran en forma no extraíble por la planta. Los mismos autores citan que este conjunto de condiciones que interactúan entre sí; incrementan la cantidad de oxígeno que entra en contacto con las raíces y por ende, el crecimiento radical aumenta consistentemente.

La palma africana es un cultivo perenne que en sus etapas tempranas de crecimiento requiere asegurar la disponibilidad de los macro y micronutrientes esenciales; con especial atención al cloro (Cl) y boro (B) que pueden presentar deficiencias severas (Paz, 1999). Esto se logra con niveles adecuados de pH que oscilan entre 4 y 6 con un óptimo de 5.5. Un balance adecuado de dichos nutrientes favorece el buen crecimiento y desarrollo de una planta vigorosa, que permitirá en el futuro obtener rendimientos aceptables de aceite para una plantación. Es de vital importancia nutrir bien a la palma durante los primeros años de la plantación para asegurar rendimientos aceptables (ASD, Costa Rica, sf). Se debe aclarar que no existen datos disponibles sobre la merma en rendimiento que los suelos con pH alcalino y alta saturación de Ca pueden causar en el cultivo; pero la preocupación surge de la simple observación de las palmas, las cuales presentan un notorio retraso en crecimiento además de claros síntomas de deficiencia de K.

## 1.1 ANTECEDENTES

En la parcela de producción de Agromeza, cerca de La Lima, Departamento de Cortés, Honduras; se tiene una plantación de año y medio de trasplante que presenta síntomas de deficiencia de K. Esta deficiencia presenta manchas anaranjadas en las hojas más viejas, los bordes toman un color amarillo-café y la vena central permanece verde (Instituto de la Potasa y Fósforo, Programa para el Este y Sudese Asiático, 2001). A continuación se observa una foto de una palma con claros síntomas de deficiencia de K y que son similares a los observados en la plantación estudiada. Nótese que la leguminosa usada como cobertura presenta también los síntomas de deficiencia (Figura 1).



Figura 1.- palma y cultivo de cobertura con síntomas de deficiencia de K.

La fotografía siguiente muestra una plantación sana que tiene un cultivo de cobertura y en la cual no se encuentra deficiencia de ningún elemento. Esta puede considerarse como una plantación sana; la edad aproximada es de un año después del trasplante (Figura 2).



Figura 2.- Plantación de palma sin ninguna deficiencia visible.

Ante esta situación, personal de Agromeza procedió a hacer aplicaciones edáficas de 150 kg de  $K_2O$ /ha sin obtener respuesta a esta fertilización ya que los síntomas de deficiencia de K eran notorios todavía. Posteriormente se realizaron análisis de suelo para determinar el pH y contenido de Ca en el suelo con el objetivo de señalar las causas de la falta de respuesta a la fertilización con K y los datos obtenidos fueron los siguientes: (Ver Cuadro 2 pag. 7). El muestreo de este análisis se realizó a tres profundidades por parcela, con seis parcelas divididas. Esto dio un total de 18 muestras para este primer análisis. Se encontró un pH de 7.8 y los niveles de Ca en el suelo son tan altos que podrían explicar el bloqueo de la respuesta a la fertilización hecha con K.

Niveles altos de Ca, causan un desbalance de nutrientes y afectan esencialmente a las relaciones Ca/K, Ca/Mg y Mg/K que deberían de manejarse entre 13:1, 6.5:1 y 2:1 respectivamente. Datos para un suelo franco. (Andrews A., 1999, Fundamentos de aplicación de abonos y enmiendas). En cuanto a la disponibilidad de B, según Tisdale, *et al.* (1993) se ha demostrado que los síntomas de deficiencia de B están asociados con valores altos de pH. Esto puede deberse a una desfavorable relación Ca:B en la planta; debido a que mayores cantidades de Ca son absorbidas en suelos con pH alto en relación a las cantidades de B. Si la relación de cationes se inclina a favor del Ca, lo que ocurre es que el resto de elementos presentan problemas para su absorción. Este suelo de pH

alcalino permite que por acción de masa el  $\text{Ca}^{+2}$  reemplace al  $\text{K}^{+1}$  intercambiable y el K tienda a lixiviarse ( Andrews A., Folleto de la clase de Fertilidad y Manejo de Suelos, 1999). Mientras el requerimiento inicial de K en plantaciones de menos de dos años es muy reducido; la cantidad requerida para mantener el crecimiento y obtener una producción precoz se incrementa rápidamente después del segundo año del trasplante (PPI, East and Southeast Asia Program, 2001).

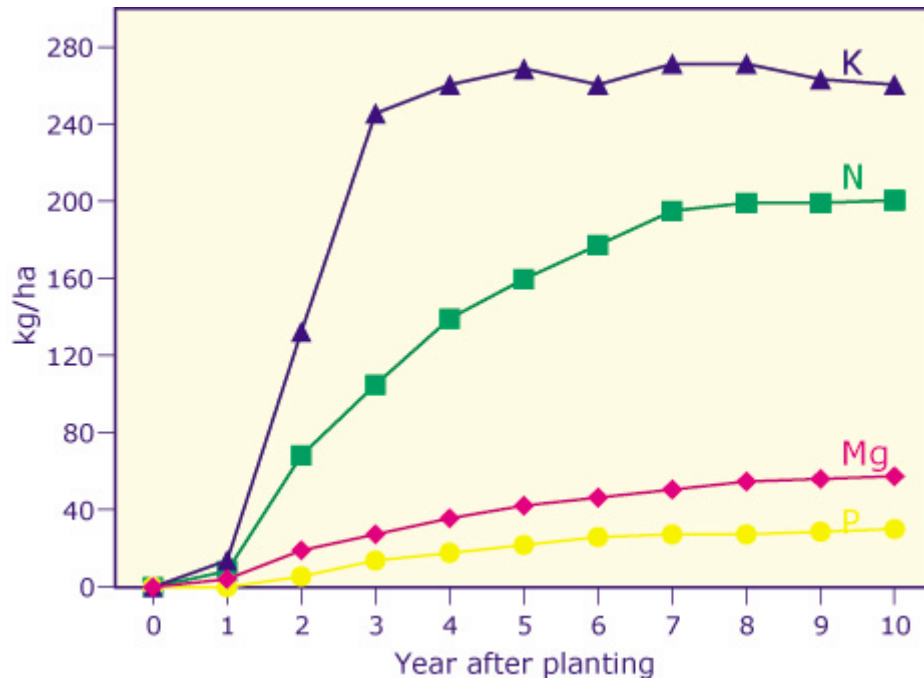


Figura 3. Absorción de N, P, K, y Mg en palma africana (Ng, 1977. IPF, Programa para el Este y Sudeste Asiático, 2001).

Cuadro 2. Bases intercambiables y relaciones entre cationes en los suelos de Agromeza, La Lima, Honduras; agosto 10 del 2000.

Tratamiento (kg/palma)	Profundidad 10 cm										
	Meq/100 g de suelo					% Saturación		Relaciones entre cationes			
	Na	K	Ca	Mg	CIC	K	Ca	Ca/K	Ca/Mg	Ca+Mg/K	Mg/K
3.2 Flor S	0.16	1.89	24.46	4.17	30.7	6.16	79.73	12.94	5.87	4.65	2.21
4.8 Flor S	0.19	4.04	20.87	2.82	27.9	14.47	74.75	5.17	7.40	1.64	0.70
6.4 Flor S	0.2	3.68	21.62	3.79	29.3	12.56	73.81	5.88	5.70	2.02	1.03
3.2 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.16	2.45	21.96	3.34	27.9	8.78	78.68	8.96	6.57	2.88	1.36
4.8 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.16	2.3	24.66	3.98	31.1	7.40	79.29	10.72	6.20	3.87	1.73
Testigo	0.13	2.19	18.52	4.31	25.2	8.71	73.64	8.46	4.30	2.62	1.97

Tratamiento (kg/palma)	Profundidad 20 cm										
	Meq/100 g de suelo					% Saturación		Relaciones entre cationes			
	Na	K	Ca	Mg	CIC	K	Ca	Ca/K	Ca/Mg	Ca+Mg/K	Mg/K
3.2 Flor S	0.16	0.68	27.66	4.26	32.8	2.08	84.43	40.68	6.49	46.94	6.26
4.8 Flor S	0.13	0.94	21.02	3.39	25.5	3.69	82.5	22.36	6.20	25.97	3.61
6.4 Flor S	0.14	1.02	20.07	3.69	24.9	4.09	80.54	19.68	5.44	23.29	3.62
3.2 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.13	1.03	19.97	4.03	25.2	4.09	79.37	19.39	4.96	23.30	3.91
4.8 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.13	0.75	29.35	5.08	35.3	2.12	83.12	39.13	5.78	45.91	6.77
Testigo	0.14	1.15	18.72	4.16	24.2	4.76	77.45	16.28	4.50	19.90	3.62

Tratamiento (kg/palma)	Profundidad 30 cm										
	Meq/100 g de suelo					% Saturación		Relaciones entre cationes			
	Na	K	Ca	Mg	CIC	K	Ca	Ca/K	Ca/Mg	Ca+Mg/K	Mg/K
3.2 Flor S	0.17	0.49	23.81	4.19	28.7	1.71	83.08	48.59	5.68	57.14	8.55
4.8 Flor S	0.14	0.79	19.02	7.41	27.4	2.89	69.52	24.08	2.57	33.46	9.38
6.4 Flor S	0.13	0.87	19.52	3.58	24.1	3.61	81.00	22.44	5.45	26.55	4.11
3.2 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.13	0.87	24.01	4	29	3.00	82.76	27.6	6.00	32.20	4.6
4.8 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.18	0.61	26.76	4.58	32.1	1.90	83.29	43.87	5.84	51.38	7.51
Testigo	0.13	0.5	16.57	3.94	21.1	2.37	78.38	33.14	4.21	41.02	7.88

Fuente:  
Laboratorios  
de la FHIA.

Esto indica que el problema principal a resolver es el de la saturación de Ca que existe en este suelo; para después, ya con un balance adecuado de nutrientes, se pueda obtener la respuesta adecuada al plan de fertilización que maneja el personal.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

<sup>1</sup>La literatura disponible acerca del tratamiento de suelos calcáreos con niveles altos de saturación de Ca para palma africana es muy escasa e imprecisa debido a que éste es un problema aislado de pequeños sectores de una plantación. No obstante, deberían seguirse los lineamientos convencionales para el tratamiento de este tipo de suelos. Según esto se pueden dar deficiencias de microelementos como Fe y Zn; los cuales son de menor importancia en el cultivo de palma africana en relación al Cl y B.

Por ser éste un problema aislado, no existe información disponible sobre la merma en rendimiento que este tipo de suelos producirá en el futuro; ya que es importante recordar que se esta tratando de una plantación que tiene apenas un año y medio de establecida.

Esta parcela, fue sembrada con el cultivar Deli X Lamé que entra a producción aproximadamente a los cinco años del trasplante y si se pretendería cuantificar la disminución en rendimiento debiera de dejarse la parcela testigo sin tratamiento por toda la vida de la plantación.

El Departamento de Investigación de la Empresa ha dispuesto que se siga con la investigación sobre este tipo de problemas a fin de sentar bases sobre el manejo de suelos calcáreos para en el futuro darles un tratamiento adecuado a las parcelas que presenten problemas similares.

## **1.3 LIMITES DEL ESTUDIO**

Se concentra en el efecto del suelo sobre el crecimiento de las palmas; asumiendo que otros factores que pueden incidir en la tasa de crecimiento como: interacciones del medio ambiente por ejemplo (Temperaturas bajas, luminosidad baja, etc.), tienen un efecto poco apreciable en el desarrollo de las palmas.

Este trabajo persigue reducir y/o eliminar el efecto del Ca que se encuentra en el suelo porque se asume que este es el factor limitante más importante para el buen crecimiento y desarrollo de la palma. Es decir, que la recuperación de la fertilidad del suelo y el balance adecuado de nutrientes junto con la restauración de las tasas normales de crecimiento de la palma se alcanzarán únicamente si se resuelve satisfactoriamente el problema de saturación de Ca y se logra suplir con la fertilización, los niveles adecuados de fertilidad en el suelo.

---

<sup>1</sup> Ing. E. Arias, 2001, Tratamiento de suelos con niveles altos de pH y Ca , La Lima-Honduras, San Alejo, entrevista personal.

Los niveles de fertilización que se están aplicando en las plantaciones de San Alejo son los que se muestran a continuación (Cuadro 2)

**Cuadro 3.-** Niveles de fertilización aplicados( kg/ha/año) en Agromeza en el periodo 1999-2001. San Alejo, Honduras.

<b>Nutriente</b>	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>MgO</b>	<b>Boro</b>
Nivel de aplicación al suelo	100	38	150	5	4

Las fuentes que se usan actualmente para cumplir con este programa de fertilización son las siguientes: nitrato de amonio, fosfato diamónico, cloruro de potasio, sulfato de potasio y magnesio y el producto comercial Boromat proveniente de Chile. Es necesario recalcar que al momento del transplante se fertilizó con todo el P y la mitad de N y luego de seis meses se completó la fertilización con N y elementos faltantes. El segundo año, sólo se está fraccionando el N y K en 2 aplicaciones.

## 1.4 OBJETIVOS

### General

1.- Evaluar el efecto de dos enmiendas a base de S sobre las propiedades químicas del suelo y la respuesta de la palma africana a estas enmiendas.

### Específicos

- 1.- Determinar la fuente y dosis de S más efectiva para reducir la saturación de Ca y reducir el pH.
- 2.- Monitorear la evolución de los niveles de calcio, pH y relaciones entre cationes como efecto del S.
- 3.- Determinar las relaciones existentes entre las variables de crecimiento de la palma y el pH, CIC y porcentaje de saturación de Ca.

## 1.5 HIPÓTESIS

Una palma que está siendo mal nutrida durante sus primeros años de crecimiento, no tendrá el mismo nivel de rendimiento de aceite que una planta bien nutrida cuando ambas entren en producción. Combinando esto con una mayor susceptibilidad a enfermedades y una disminución en crecimiento considerable, es imprescindible proponer un tratamiento que mitigue este desbalance de nutrientes.

El crecimiento de la palma es afectado por los altos valores de Ca en el suelo, que hacen que otros cationes importantes como el K<sup>+1</sup> y Mg<sup>+2</sup> sean desplazados de los coloides del

suelo por acción de masa de  $\text{Ca}^{+2}$  sobre ellos. Esto hace que el  $\text{K}^{+1}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  se lixivien al no ser adsorbidos por la micelia del suelo. También se puede esperar una deficiencia de microelementos como B, Cl, Fe y Zn que se ven afectados por el pH y la alta saturación de Ca que reducen su disponibilidad.

La hipótesis nula consiste en afirmar que no existe diferencia significativa en el crecimiento de palmas tratadas con S frente a aquellas que no recibieron este tratamiento (testigo). La hipótesis alterna, en contradicción, afirma que hay una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos a base de S y el testigo en lo que se refiere al crecimiento de las palmas.

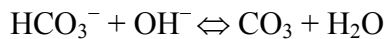
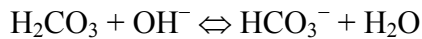
## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 FUENTES DE ALCALINIDAD

Según Brady y Weil (1999) en suelos con baja precipitación, los aniones de carbonato y bicarbonato son las principales fuentes de alcalinidad. Estos aniones se forman cuando el CO<sub>2</sub> proveniente de la respiración de microorganismos y bacterias reacciona con el agua del suelo y forman ácido carbónico mediante la siguiente reacción:



En suelos con pH alto (mayor de 7) los iones de OH<sup>-</sup> reaccionan con el H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> para formar el bicarbonato y luego el carbonato como se denota en las siguientes ecuaciones (Brady & Weil, 1999).



#### 2.1.1 Suelos alcalinos no salinos de zonas áridas:

Una característica común de estos suelos es la acumulación de carbonato de calcio a una profundidad en el horizonte de suelo. La alta concentración de carbonatos encontradas en estos horizontes inhiben el crecimiento de raíces para algunas plantas. Cuando las concentraciones de carbonatos están cerca de la superficie del suelo, serias deficiencias de micronutrientes pueden ocurrir para plantas no adaptadas a estas condiciones (Tisdale, et al., 1993).

Acidificación del suelo puede ser necesaria cuando se tienen altos niveles de carbonatos, como ocurre en las regiones áridas y semiáridas. La construcción de sistemas de drenaje, generalmente para facilitar la irrigación, pueden exponer las capas calcáreas y pH alto del subsuelo que son desfavorables para el óptimo crecimiento de las plantas. (Tisdale, et al., 1993).

### 2.2 DEFICIENCIAS DE NUTRIENTES

#### 2.2.1 Fósforo

En cuanto al P, Brady y Weil (1999) indican que tanto el P nativo como el que es aplicado, se fija como moléculas insolubles de fosfato de calcio y magnesio reduciendo significativamente la absorción de P por la planta.

**2.2.1.1 Disponibilidad de P a pH alto.**-En suelos alcalinos, el  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  soluble reacciona rápidamente con el Ca para formar una secuencia de productos de mas baja solubilidad. Por ejemplo, el altamente soluble fosfato monocálcico añadido como fertilizante superfosfato concentrado reacciona rápidamente con el carbonato de calcio del suelo para formar el fosfato dicálcico y luego el fosfato tricálcico (Brady y Weil,1999 ). Los autores enfatizan también en que la solubilidad de estos compuestos y su disponibilidad para las plantas decrece a medida que el P cambia de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  hacia el fosfato tricálcico. Debido a las varias reacciones que ocurren con el carbonato de calcio, la disponibilidad de P en suelos áridos tiende a ser muy baja.

En suelos con pH alto, Tisdale, *et al.* (1993) sostienen que los compuestos insolubles de P y la tasa de formación de compuestos subsecuentes están controlados por la relación entre Ca y P del sistema. La actividad del Ca en solución es considerada como una constante controlada por el equilibrio con el carbonato de calcio o por la disociación de calcio de los coloides. Sin embargo, la disponibilidad de P para las plantas está controlada por la tasa de aplicación de P soluble, que a su vez controla la formación de fosfatos de calcio y las tasas de transformación desde una forma hacia otra.

**2.2.1.2 Capacidad de fijación de P de los suelos.**- La fijación es el fenómeno mediante el cual el fósforo es retenido en el suelo en forma no extraíble con ácidos diluidos, por lo cual se considera como no aprovechable inmediatamente por la planta (CENTA, 1993).

Esta debe ser conceptualizada como el número total de sitios en la superficie de las partículas de suelo capaces de reaccionar con iones fosfato (Brady y Weil, 1999).

En los suelos alcalinos, generalmente la fijación se debe a la reacción del P con el Ca para formar compuestos insolubles, y también porque es retenido por las arcillas formando puentes arcilla-calcio-fósforo (CENTA, 1993). Tisdale, *et al.*(1993) afirman que el mecanismo responsable por la fijación de P en suelos alcalinos es la retención del fosfato por arcillas saturadas con Ca. Ha sido demostrado experimentalmente que este tipo de arcillas son capaces de retener mucho más P que otras saturadas con Na o algún monovalente. Consecuentemente, un enlace arcilla-Ca- $\text{H}_2\text{PO}_4$  ha sido propuesto.

**2.2.1.3 Factores que afectan la capacidad de absorción de P en los suelos.**- La capacidad de fijación de P de un suelo, esta relacionada positivamente con algunas propiedades de suelo como: contenido de carbonato de calcio, contenido de arcillas y pH (Brady y Weil, 1999). En cuanto a la cantidad de arcillas presentes, los autores resumen que a mayor cantidad, mayor fijación y menor disponibilidad de P y viceversa, cuando existe menos cantidad de arcilla; ya que la mayoría de los compuestos con los que el P reacciona se encuentran en la fracción más fina del suelo. Además señalan que la materia orgánica tiene una capacidad muy baja de fijar P fuertemente.

El pH: La máxima disponibilidad de P ocurre en el rango de 5.5-7. Arriba de 7, los iones Ca y Mg así como la presencia de carbonatos de estos en el suelo, precipitan el P añadido y su disponibilidad se reduce (Tisdale, *et al.*, 1993).

En la solución de suelo el P existe como ion  $\text{HPO}_4^-$  (Ortofosfato primario) o como ión  $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$  (Ortofosfato secundario). Cuando el pH es alcalino, la forma predominante es el ortofosfato secundario. El que toman usualmente las plantas es el ortofosfato primario, generalmente más abundante en los suelos. Cuando el pH es alcalino, gran parte del P se fija al reaccionar con carbonatos produciendo fosfatos de calcio insolubles (CENTA,1993).

La solubilidad de los ortofosfatos de calcio disminuye desde mono, di hasta terminar en tri-ortofosfato de Ca. Los iones fosfato que entran en contacto con la fase sólida del carbonato de calcio, son precipitados en la superficie de estas partículas. La cantidad de precipitación que ocurre depende de: la cantidad de área expuesta por el carbonato de calcio y por la concentración del fosfato de calcio en la solución que la rodea. La tasa de precipitación depende de la concentración de los reactivos en la solución de suelo (Tisdale, *et al.* 1993).

**2.2.1.4 Control de la disponibilidad de P.-** Colocación del fertilizante: Una estrategia para maximizar el valor de la aplicación de fertilizante fosforado es a través de minimizar la oportunidad que tenga el fertilizante de reaccionar con el suelo antes de ser absorbido por las raíces. Generalmente si la aplicación se hace localizada (en banda) en vez de al voleo; entre la mitad y un tercio del fertilizante puede ser aprovechado (Brady y Weil, 1999).

La eficiencia relativa (banda/voleo) varía entre 3:1 para suelos con niveles bajos de P disponible hasta 1:1 para suelos con niveles medios a altos de P disponible cuando el fertilizante fosforado es aplicado para mantener un nivel determinado de P disponible (Tisdale, *et al.*, 1993).

Combinación de amonio con fertilizantes P: usando amonio en la misma banda que el fertilizante fosforado se incrementa grandemente la absorción de P por las raíces, especialmente en suelos alcalinos. Este incremento en la absorción de P está probablemente relacionado con el ácido producido durante el proceso de nitrificación y a los ácidos que producen las raíces cuando absorben el N en forma de  $\text{NH}_4$ . El fosfato mono y diamónico ofrecen estas ventajas (Brady y Weil, 1999).

## 2.2.2 Potasio

Tisdale, *et al.* (1993) así como Brady y Weil, (1999) indican que tanto el  $\text{Ca}^{+2}$  como el  $\text{Mg}^{+2}$  compiten con el  $\text{K}^+$  para su absorción por la planta y que en suelos donde los niveles de estos cationes son altos, grandes cantidades de K serán requeridas para una nutrición adecuada del cultivo. También afirman que debido a que la absorción de K es afectada por la presencia de otros cationes en la solución de suelo, algunos especialistas prefieren usar la relación que existe entre: la concentración de K dividida para la raíz cuadrada de la suma de las concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  más que únicamente la concentración de K para indicar el nivel de K disponible en la solución.

La disponibilidad de Ca y la absorción por las plantas están también influenciada por las relaciones entre cationes; una relación de Ca/bases totales de 0.10-0.15 es la adecuada. Mientras la absorción de Ca se reduce por la presencia de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  y  $\text{Al}^{3+}$ ; su absorción se incrementa cuando existen nitratos (Tisdale, *et al.*, 1993).

Finalmente, Brady y Weil (1999) concluyen que la deficiencia de K ocurre frecuentemente en suelos calcáreos; inclusive cuando la cantidad de K intercambiable es la adecuada para la nutrición de la planta en otro tipo de suelo. Además, sostienen que la fijación de K así como las relaciones entre cationes pueden ser las responsables de estos efectos adversos en suelos ricos en carbonato de calcio.

### 2.2.3 Micronutrientes

Fe, Mn, y Zn que se encuentran disponibles en suelos ácidos; son escasos en suelos alcalinos.

Desafortunadamente, añadir estos nutrientes en residuos y fertilizantes ha sido inefectivo porque estos elementos son fijados rápidamente a formas insolubles cuando existe un alto (Brady y Weil, 1999).

De igual manera, según Tisdale, *et al.* (1993) la disponibilidad de B se reduce a pH alto ya que un pH superior a 7 el B se adsorbe fuertemente a los coloides del suelo. Los mismos autores, señalan que complejos orgánicos protectores especiales como los quelatos pueden ayudar a llenar los requerimientos nutricionales en este tipo de suelo.

La CIC de suelos alcalinos es generalmente más alta que la de suelos ácidos de similar textura. Esto se debe principalmente a dos factores: La alta CIC asociada con las cargas constantes de las arcillas tipo 2:1 que son las más comunes en este tipo de suelo y de la alta CIC proveniente de las cargas dependientes del pH presentes en los coloides de humus que están presentes a estos altos niveles de pH (Tisdale y Nelson, 1993).

### 2.2.4 Comportamiento de los compuestos de S en el suelo

De acuerdo con Tisdale, *et al.* (1993); las formas orgánicas de S deben ser mineralizadas para que la planta tenga la capacidad de absorber el S. La tasa de ocurrencia de la mineralización depende principalmente de la humedad, aereación temperatura y pH.

Inmovilización: La relación C/S de la materia orgánica cuando es mayor de 400:1 generalmente conlleva a una inmovilización del S. El proceso de oxidación del S elemental es preponderantemente microbiológico y es llevado a cabo por bacterias autotróficas, de las cuales se han identificado cinco especies del género *Thiobacillus*.

El proceso de oxidación de S es acidificante y por cada molécula de S oxidada se producen dos moléculas de  $\text{H}^+$  (Tisdale, *et al.*, 1993).

**2.2.4.1 Adsorción de sulfato y lavado de bases.-** Cuando el ión sulfato es lavado del suelo, es usualmente acompañado con cantidades equivalentes de Ca, Mg y otras bases.

En suelos con una alta capacidad de adsorción de sulfato, el lavado de sulfato es bajo y la pérdida de bases es también baja. En contraste, suelos con baja capacidad de adsorción de sulfato, el lavado de este y de las bases es mucho mas alto (Brady y Weil, 1999).

El S se encuentra coprecipitado o cocrystalizado como impureza con  $\text{CaCO}_3$  y es una importante fracción del total de S en suelos calcáreos (Tisdale, *et al.*, 1993).

**2.2.4.2 Fuentes de S en forma de sulfato.-** En la mayoría de estos fertilizantes, la fuente de S es el ácido sulfúrico usado en el proceso de manufactura. Los fertilizantes que contienen S en forma de sulfato llevan entre cinco a 24% de azufre. Así como estos fertilizantes no necesitan de la ocurrencia de ninguna transformación en el suelo para estar disponibles para la planta, están accesibles tanto para su absorción como para pérdidas por lavado. Esto es de importancia práctica en pH alto, altas tasas de percolación, bajos niveles de materia orgánica y alta precipitación o riego por gravedad (FADINAP, *et al.*, 1987).

El ácido sulfúrico se ha usado para incrementar la disponibilidad de P y micro nutrientes, reducir la volatilización del  $\text{NH}_3$ , incrementar la penetración de agua y para el control de ciertas malezas y patógenos de suelo (Tisdale, *et al.*, 1993).

Este ácido puede ser añadido directamente al suelo, pero es de difícil manejo y requiere de equipo especial resistente a ácidos para su aplicación. Este fertilizante tiene la ventaja de que reacciona inmediatamente con el suelo.

**2.2.4.3 Fertilizantes que contienen S en forma elemental.-** El S elemental es un sólido cristalino de color amarillo, inerte e insoluble en agua. Comercialmente se almacena a la intemperie, donde permanece inalterado por cambios de humedad y temperatura (Tisdale, *et al.*, 1993).

Según Tisdale, *et al.* (1993) el S elemental es el más efectivo de los acidulantes de suelo. Cuando se aplica al voleo, la siguiente reacción ocurre:



Por cada mol de  $\text{S}^0$  aplicado y oxidado, se producen dos moles de  $\text{H}^+$ , lo que reduce el pH del suelo. Cuando se calcula la cantidad de  $\text{S}^0$  para aplicar, se debe tener en cuenta la curva de capacidad de amortiguamiento que tenga ese suelo (Tisdale, *et al.*, 1993).

El S elemental debe convertirse a sulfato mediante oxidación en el suelo. Este proceso es esencialmente microbiológico, pero la tasa de oxidación depende de factores como: el tamaño de las partículas del material, grado de contacto con el suelo, aereación, temperatura y la textura de suelo (Dev & Kumar, 1982; Wainright, 1984 citados por FADINAP, *et al.*, 1987)

Algunos microorganismos, incluyendo quemoliotrópicos como los thiobacilus y una variedad de bacterias heterotróficas, actinomicetos y hongos; son capaces de oxidar los compuestos inorgánicos de S (Germida, 1985 citado por FADINAP, *et al.* 1987).

La oxidación de S elemental puede tomar entre ocho a 11 semanas para ser completada de acuerdo a condiciones de suelo. Este fertilizante azufrado es de liberación lenta, lo que lo hace menos susceptible al lavado si se compara con sulfatos (FADINAP, *et al.*, 1987).

El S elemental es un fertilizante de alto análisis que presenta mayor versatilidad en su manejo. Generalmente, material con granulometría de 100 mesh o más fino es recomendado y los mejores resultados son obtenidos en suelos calcáreos, alcalinos y bien aireados (FAO, 1984 citado por FADINAP, *et al.*, 1987).

Se ha reportado que la aplicación de S elemental ayuda a corregir la clorosis debida a la deficiencia de Fe en suelos calcáreos como consecuencia del efecto acidulante (FADINAP, *et al.*, 1987).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

La plantación está ubicada en un sitio llamado Copén, a dos kilómetros de La Lima en la costa norte de Honduras y se encuentra en un ecosistema de bosque seco subtropical bs-S con una precipitación promedio de 1100 mm al año; razón por la cual se cuenta con un sistema de riego por aspersión. La plantación tiene un año y medio desde el trasplante y está sembrada a tres bolillos con una distancia de 9 X 9m.

Se probaron dos productos comerciales a base de S como tratamientos para evaluar la reducción de la saturación de calcio del suelo. Las dosis utilizadas se tomaron de una recomendación de especialistas de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) a razón de: 500, 750, 1000 kg de flor azufre/há que contiene 99% de S elemental y de 500 y 750 L. de ácido sulfúrico/há al 97% de concentración y conteniendo 30 % de S elemental.

Lo anterior, determinó las dosis para cada uno de los tratamientos como sigue:

1. Flor de azufre en tres dosis: 3.20 kg/palma ; 4.80 kg/palma ; 6.40 kg/palma.
2. Ácido sulfúrico inyectado al suelo en dos dosis: 3.20 y 4.80 kg/palma

El ácido sulfúrico se aplicó inyectado al suelo a una profundidad de 15 cm con una jeringa especial anticorrosiva. Esto se hizo en cuatro puntos equidistantes sobre el comal de cada palma.

En cuanto a flor azufre, por su presentación sólida y alta granulometría, su aplicación se realizó al voleo sobre la superficie del comal con la salvedad de que la humedad del suelo y/o una precipitación adecuada ayudaron a disolver el S elemental en la solución de suelo.

Las variables de crecimiento de la palma que se midieron fueron: Longitud del raquis (LR), área peciolar (AP) y la tasa de emisión foliar (TEF). Estas mediciones se realizaron el 10 de febrero del 2001, casi siete meses después de la aplicación de los tratamientos.

Para esto, los materiales básicos que se usaron: cinta métrica para la longitud del ráquis y el área peciolar que se hizo en la hoja nueve, mientras que para la tasa de producción de hojas, únicamente fue necesario marcar la hoja más nueva con pintura y luego de un lapso de cinco meses, se contó cuantas hojas nuevas se produjeron en ese período.

En cuanto a las variables de suelo; se midieron los niveles de saturación de Ca, K; pH, P fijado o no disponible y la CIC junto con las bases intercambiables y de estos valores se derivaron las relaciones entre cationes siguientes: Ca/K, Ca/Mg, Ca+Mg/K y Mg/K. Estas mediciones se realizaron en base a muestras de suelo a tres profundidades (0-10,

10-20, 20-30 cm) para lo que se necesitó un barreno, bolsas plásticas y un marcador para rotular las submuestras. Todos estos análisis fueron hechos en la FHIA y el de fijación de P junto con un análisis foliar completo (parte central de cuatro folíolos del medio de la hoja nueve) para los seis tratamientos en el Laboratorio de Suelos de Zamorano.

El modelo experimental fue un diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones en el tiempo. Las unidades experimentales fueron las palmas y se tomaron tres observaciones por cada profundidad de muestreo (10, 20 y 30 cm) y por cada tratamiento. Cada repetición consistió de una muestra compuesta de suelo que fue tomada sistemáticamente en las 3 palmas señaladas en el croquis de la plantación (ver página 19) a tres profundidades distintas. Es decir, se sacaron 9 submuestras de cada tratamiento para cada repetición (3 palmas x 3 profundidades) y después se juntaban las 3 submuestras de las 3 palmas para tener una sola muestra por cada profundidad para la repetición de ese tratamiento. Esto da un total de 9 observaciones (3 repeticiones x 3 profundidades) por tratamiento para las 3 profundidades; lo que resulta en un total de 54 observaciones por los 6 tratamientos del experimento para c/u de las variables en estudio.

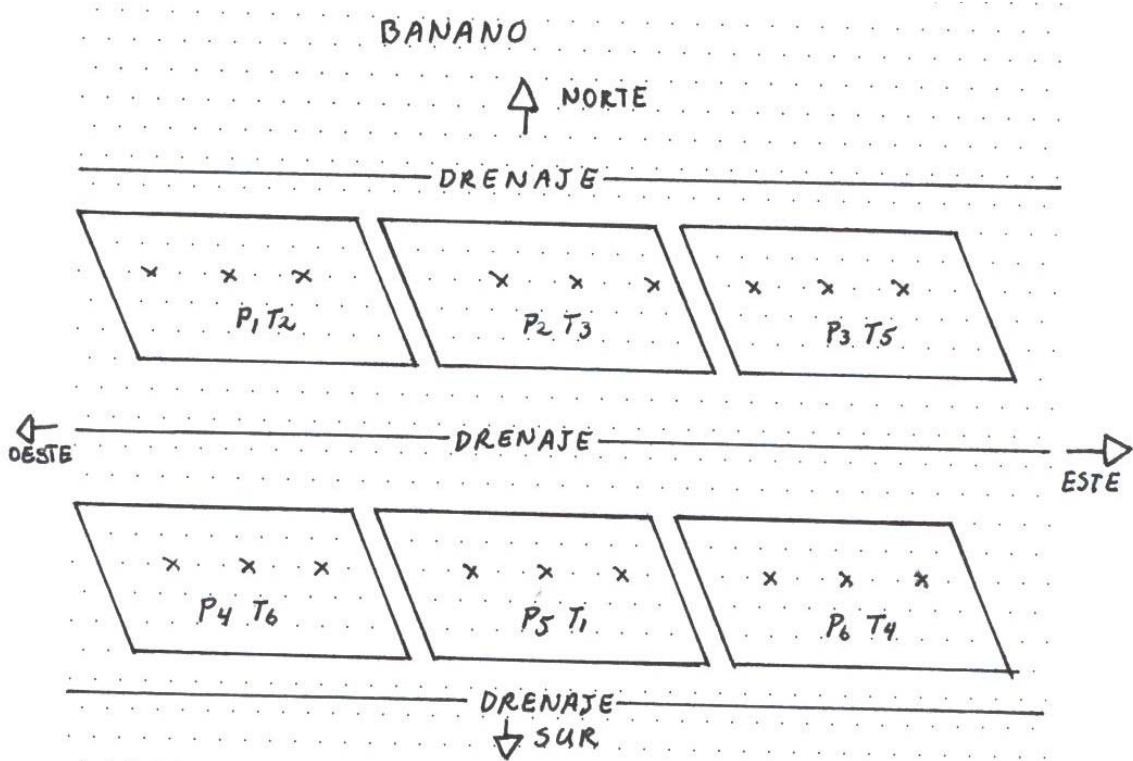
Los datos obtenidos de estas mediciones, sirvieron para establecer correlaciones entre variables de suelo y de crecimiento. Además de esto, se determinó el tratamiento más efectivo a través de un ANDEVA y una prueba de separación de medias (Student-Newman-Keuls SNK).

Es importante recalcar que durante agosto del 2000 se realizaron los análisis de suelo iniciales así como la toma de medidas de crecimiento y se terminó con las aplicaciones de los tratamientos a base de S. Continuando con esto, el 3 de marzo del 2001 y el 20 de julio del mismo año, se completó el muestreo de suelo después de los tratamientos junto con las medidas de crecimiento, las cuales se realizaron en agosto del 2000 y en febrero del 2001.

Para el muestreo final de suelos y la toma de crecimiento de las palmas se tiene un croquis de la plantación en el cual, se encuentran señaladas las palmas que se usaron como unidades experimentales; tomando en cuenta que estas se seleccionaron considerando el efecto de borde del terreno, así como el efecto que tendría tomar en cuenta una palma que esté cerca del drenaje principal y en fin, cualquier planta que por una u otra razón pueda considerarse atípica dentro de una plantación. Es por estas razones que se trató de hacer un muestreo sistemático del suelo, repitiéndose las observaciones en la misma unidad experimental asignada al inicio del experimento. A continuación se muestra un croquis de la plantación en el cual se encuentran señaladas las palmas que constituyen las unidades experimentales para cada tratamiento que consta de tres repeticiones cada uno.

Para finalizar, se realizó un análisis de conductividad eléctrica para determinar si la adición de fuentes azufradas al suelo tenía algún efecto en la concentración de sales. Además de esto, se realizó un análisis de textura para interpretar de mejor manera las respuestas observadas en las variables de estudio.

Figura 4. Croquis de la plantación de palma africana en La Lima, Honduras. 20001.



<u>PARCELA</u>	<u>TRATAMIENTO</u>	<u>DOSIS (Kg/palme)</u>
1	2	3.2 Flor. azufre
2	3	4.8 Flor. azufre
3	5	3.2 Ácido sulfúrico
4	6	4.8 Ácido sulfúrico
5	1	0.0 Testigo
6	4	6.4 Flor. azufre

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 pH

Se encontró una reducción significativa del pH para todas las fuentes de S comparadas con el testigo; obteniéndose la mayor reducción en base a la aplicación de 6.4 kg/palma de Flor de S (Cuadro 4). Esto se debe, en el caso de Flor de S a la mayor formación de radical sulfato con dosis incrementales de esta fuente. En el caso del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> se explica básicamente de la misma manera; haciendo la salvedad de que con Flor S, la liberación de compuestos acidificantes es más lenta porque requiere de un proceso de transformación de S elemental hacia SO<sub>4</sub> mientras que con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> la disponibilidad es inmediata (Tisdale, *et al.*, 1993).

Cuadro 4. Efecto de enmiendas a base de S sobre el pH, CIC y saturación de Ca y K en un suelo franco. La Lima, Honduras, 2001.

Tratamiento (kg/palma)	pH		CIC (Meq/100g)		Saturación K*		Saturación Ca *	
	Media	SNK	Media	SNK	Media	SNK	Media	SNK
3.2 Flor S	7.0	B	28.1	B	3.9	B	82.2	A
4.8 Flor S	6.5	B C	25.4	B	6.9	A	79.1	A
6.4 Flor S	6.1	C	27.5	B	4.2	B	82.7	A
3.2 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6.4	B C	26.8	B	4.2	B	82.5	A
4.8 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6.4	B C	30.9	A	2.7	B	81.8	A
Testigo	7.8	A	25.8	B	3.8	B	83	A
<b>C.V. (%)</b>	<b>6.7</b>		<b>8.2</b>		<b>32</b>		<b>3.63</b>	
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.89</b>		<b>0.92</b>		<b>0.90</b>		<b>0.80</b>	

\* SNK son grupos de separación de medias. Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes.  $p \leq 0.05$

\* Saturación de K y Ca en (%)

## 4.2 CIC

En cuanto a la CIC los resultados indican que aumentó únicamente cuando se aplicaron 4.8 kg/palma de  $H_2SO_4$ . Sin embargo, para esta variable se encontró una interacción altamente significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre las fuentes de S y el tiempo o época de muestreo. Es por esto que se aisló el efecto de esta interacción al analizar cada fuente para cada tiempo de muestreo. Según esto, se tiene que para la primera época de muestreo la CIC aumentó significativamente con 3.2 kg/palma de Flor S y con 4.8 kg/palma de  $H_2SO_4$  (Cuadro 6).

Esto se justifica en el caso de 3.2 kg/palma de Flor S debido a que el tiempo promedio de transformación de  $S^0$  a  $SO_4$  va de 8 a 11 semanas (FADINAP, 1987). Es decir que en ésta primera época de muestreo; no se podían apreciar todavía los efectos de las dosis incrementales de este fertilizante ya que todo el  $S^0$  se estaba transformando a una tasa constante en  $SO_4$  e inclusive; una mayor área de contacto y aereación es obtenida cuando la dosis de este fertilizante es mas baja. Consecuentemente la CIC fue mayor debido a que mayores cantidades de Ca fueron liberadas de su forma natural en el suelo como  $CaCO_3$ .

Lo contrario ocurrió con 4.8 kg/palma de  $H_2SO_4$  ya que si hubo respuesta al cambio incremental en la dosis, esta fuente de S necesita disolverse en el agua de suelo para disociarse en  $H^+$  y  $SO_4^{--}$  y de igual manera, la CIC fue mayor en este tratamiento, debido a la disponibilidad inmediata que éste tiene y a la dosis empleada (FADINAP 1987).

En la segunda y tercera época de muestreo la CIC para todas las fuentes de S permanece sin cambios significativos en relación al testigo (Cuadro 6).

## 4.3 SATURACIÓN DE CATIONES

En el Cuadro 4 se observa que la saturación de K aumentó significativamente cuando se utilizó la dosis de 4.8 kg/palma de Flor S. Esto probablemente debido a que la disponibilidad de K en el suelo llega a su óptimo con este nivel de disponibilidad. Debido a que se encontró una interacción significativa entre la época de muestreo y la profundidad, se clasificó de acuerdo a la profundidad obteniéndose los siguientes resultados: En los 10 primeros cm de suelo no hubo diferencias significativas en cuanto a la saturación de K para todos los tratamientos. Probablemente esto se deba a que la mayoría de la masa radical de la palma africana se concentra en los primeros 15 cm de profundidad (Paz, 1999) y esto permite que la lixiviación de K se reduzca como efecto de la aplicación de enmiendas a base de S.

Esto contrasta con los datos que corresponden a 20 cm. de profundidad, donde la saturación de K disminuyó significativamente (2%) para la aplicación de 4.8 kg/palma de  $H_2SO_4$  comparada con el testigo y demás fuentes de S.

Para 30 cm de profundidad, de nuevo, la dosis de 4.8 kg de Flor S aumentó significativamente la saturación de K (4.7%) mientras el resto de tratamientos

permanecieron sin diferencias. Este efecto sostenido al utilizar 4.8 kg/palma de Flor S de aumentar la saturación de K a los 20 y 30 cm de profundidad puede deberse al ajuste óptimo del pH a la disponibilidad de K.

La saturación de Ca no presentó diferencias significativas para ninguno de los tratamientos con respecto al testigo debido probablemente a la formación de  $\text{CaSO}_4$  como precipitado en el suelo.

#### 4.4 CATIONES INTERCAMBIABLES

En cuanto al contenido de K del suelo se observa un incremento significativo con el uso de 4.8 kg/palma de Flor S con respecto al resto de tratamientos que permanecieron sin diferencias entre sí (Cuadro 5). Esto debido al ajuste óptimo del pH a disponibilidad de K que se menciona anteriormente.

Cuadro 5. Efecto de enmiendas a base de S sobre las bases intercambiables en un suelo franco. La Lima, Honduras.2001.

Tratamiento (kg/palma)	Na (meq/100g)		K (meq/100g)		Ca (meq/100g)		Mg (meq/100g)	
	Media	SNK	Media	SNK	Media	SNK	Media	SNK
3.2 Flor S	0.15	A	1.1	B	23.2	B	3.8	B
4.8 Flor S	0.14	A	1.8	A	20	C	3.5	B
6.4 Flor S	0.16	A	1.1	B	22.7	B	3.5	B
3.2 $\text{H}_2\text{SO}_4$	0.14	A	1.1	B	22	B C	3.5	B
4.8 $\text{H}_2\text{SO}_4$	0.16	A	0.8	B	25.2	A	4.8	A
Testigo	0.14	A	1.1	B	21.4	B C	3.3	B
C.V. (%)	14		31.7		8.3		23.6	
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.7</b>		<b>0.9</b>		<b>0.92</b>		<b>0.82</b>	

\* SNK son grupos de separación de medias. Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes.  $p \leq 0.05$

El contenido de Ca aumentó significativamente con el uso de 4.8 kg/palma de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en relación al testigo mientras que con 4.8 kg/palma de Flor S, la cantidad de Ca disminuyó significativamente pero no fue diferente estadísticamente del testigo ni de la dosis de 3.2 kg/palma de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (Cuadro 5). Para esta variable (Ca) se tiene una interacción

altamente significativa entre las fuentes de S probadas y el tiempo de muestreo; por lo tanto, fue necesario desglosar esta interacción (Cuadro 6). De acuerdo con el tiempo de muestreo se obtuvieron los siguientes resultados: A las tres semanas (30 de agosto del 2000) de la aplicación de los tratamientos; se incrementaron significativamente los contenidos de Ca en el suelo con las fuentes de 3.2 kg/palma de Flor S y 4.8 kg/palma de  $H_2SO_4$  en comparación al resto de tratamientos que permanecieron sin diferencias (Cuadro 6).

Esto se debió, probablemente a la rápida acción que tiene el  $H_2SO_4$  al disolverse en el suelo y liberar el Ca contenido en el  $CaCO_3$  para formar  $CaSO_4$  (Swift, 1997). El efecto de 3.2 kg/palma de Flor S pudo haberse debido a que su aplicación en menor cantidad, en relación con las otras dosis, facilitó la mejor dispersión del fertilizante y aumentó el área de contacto con el suelo y la aereación, acelerando el proceso microbiológico de transformación a sulfato (Tisdale, *et al.*, 1993).

Además, pese a que se cuenta con riego en la plantación, cabe destacar que en ésta época del año viene comenzando el período de mayor precipitación para esta zona y la cantidad de agua pudo haber tenido efecto en la disolución y transformación de los fertilizantes a una tasa más acelerada.

Durante la segunda etapa de muestreo (3 de marzo del 2001, aproximadamente 6 meses después de la aplicación de las fuentes de S) no se observaron diferencias significativas para el contenido de Ca entre las fuentes de S y el testigo. Sin embargo, se encontró que el nivel de Ca subía de 22.3 a 25.7 meq/100g entre la primera y la segunda época de muestreo; y descendía hasta 19.3 meq/100g en promedio para todos los tratamientos hacia la tercera época de muestreo (Cuadro 6). Esto está ligado íntimamente a la repartición de la cantidad de precipitación de la zona, siendo la segunda época de muestreo donde se requiere el uso más frecuente de riego para no someter la palma a un estrés. La calidad del agua empleada para el riego podría ser la causa más probable del incremento de los niveles de Ca durante la segunda época ya que se desconoce la concentración de carbonatos y Ca solubles del agua empleada. Durante la tercera época de muestreo (22 de julio del 2001, aproximadamente un año después de la aplicación de las enmiendas de S) en la cual, el período de mayor precipitación viene comenzando, los niveles de Ca bajan consistentemente para todos los tratamientos, pudiendo esto atribuirse a pérdidas por lixiviación debido al inicio de las lluvias (Cuadro 6).

En el Cuadro 5 se tiene que el contenido de Mg aumenta con la dosis de 4.8 kg/palma de  $H_2SO_4$  debido probablemente a que con este tratamiento la cantidad promedio registrada de K se redujo, y aunque esta reducción no fue significativa, hace suponer la precipitación de  $K_2SO_4$  que aumenta la cantidad de Mg disponible en el suelo.

#### 4.5 RELACIONES ENTRE CATIONES

Se observa en el Cuadro 7 un aumento de la relación Ca/K con 4.8 kg/palma de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y una reducción significativa con 4.8 kg/palma de Flor S con respecto al resto de tratamientos. Esto último debido principalmente al aumento de K que se explicó anteriormente.

Pero como la interacción entre las dosis de S y el tiempo de muestreo fue altamente significativa; se aislaron los efectos de la interacción clasificándolos por tiempo y se obtuvieron los siguientes resultados (Cuadro 6):

Durante la primera época de muestreo, con 3.2 kg/palma de Flor S y con 4.8 kg/palma de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> se obtuvieron incrementos significativos en la relación Ca/K (Cuadro 6); lo que se explica básicamente por el movimiento que ha tenido el Ca en esta relación por las razones citadas anteriormente ya que el K no cambió significativamente de acuerdo a la época de muestreo sino más bien de acuerdo a la profundidad del muestreo.

Cuadro 7. Efecto de enmiendas a base de S sobre las relaciones entre cationes intercambiables en un suelo franco. La Lima, Honduras.2001.

Tratamiento (kg/palma)	Ca/K		Ca/Mg		Ca+Mg/K		Mg/K	
	Media	SNK	Media	SNK	Media	SNK	Media	SNK
3.2 Flor S	26.1	B	6.8	A	30.5	B	4.4	B
4.8 Flor S	14.3	C	6.5	A	17.1	C	2.8	B
6.4 Flor S	25.4	B	6.5	A	29.3	B	3.9	B
3.2 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	22.6	B	6.4	A	26.2	B	3.6	B
4.8 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	37.8	A	5.6	A	45.1	A	7.3	A
Testigo	26.1	B	7	A	29.9	B	3.8	B
C.V. (%)	22.5		19.5		24		42.8	
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.92</b>		<b>0.82</b>		<b>0.9</b>		<b>0.83</b>	

\* SNK son grupos de separación de medias. Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes.  $p \leq 0.05$

Durante la segunda época de muestreo la relación Ca/K fue significativamente mayor con 4.8 kg/palma de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al compararla con el resto de tratamientos que permanecieron sin diferencias significativas entre sí.(Cuadro 6). En la tercera época de muestreo la relación Ca/K se redujo significativamente con el uso de todas las fuentes de S excepto con 4.8 kg/palma de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y el testigo (Cuadro 6). Esto se explica básicamente debido al inicio de las lluvias en esta época del año que permiten lavar el calcio del suelo. Especialmente con 4.8 kg/palma de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> se observa un cambio significativo de la tendencia a través del tiempo. Primero inicia y se mantiene con una alta relación Ca/K lo que hace que al momento de iniciar las lluvias; la cantidad de Ca lixiviado sea menor al compararla con el resto de tratamientos afectando directamente la relación Ca/K.

#### 4.6 MOVIMIENTO DE K Y RELACIONES ENTRE CATIONES EN EL PERFIL DE SUELO

En el Cuadro 8 se observa la mayor concentración de K en los 10 primeros cm de suelo. Esto puede ser debido a la acción del sistema radicular de la palma africana que se concentra principalmente en los primeros 15 cm de profundidad y que es de ahí de donde se absorben la mayoría de nutrientes vía raíces cuaternarias (Paz, 1999).

Cuadro 8. Efecto de la profundidad de muestreo sobre el K, saturación de K (Sat. K) y las relaciones Ca/K, Ca+Mg/K y Mg/K en un suelo franco. La Lima, Honduras.

Prof. (cm)	K (meq/100g)		Sat. K(%)		Ca/K		Ca+Mg/K		Mg/K	
	Media	SNK	Media	SNK	Media	SNK	Media	SNK	Media	SNK
0 – 10	1.7	A	6.2	A	17.9	C	20.8	C	2.84	C
10 – 20	1	B	3.7	B	26.6	B	30.9	B	4.3	B
20 – 30	0.8	B	2.9	B	31.6	A	37.4	A	5.7	A

\* SNK son grupos de separación de medias. Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes.  $p \leq 0.05$

La relación Ca/K va en descenso significativamente para todos los tratamientos debido principalmente a la distribución del K en el perfil de suelo. Esto se cumple también para el resto de variables descritas en el Cuadro 8.

#### 4.7 SALINIDAD

En el Cuadro 9 se observa el incremento del contenido de sales gradualmente con el aumento en la dosis de Flor de S. Esto debido básicamente a la mayor formación de  $\text{CaSO}_4$  que contribuye a la cantidad de sales en el suelo (Swift, C. sf).

Cuadro 9. Efecto de fuentes de S en la salinidad de un suelo franco. La Lima, Honduras. 2001.

Tratamientos (kg/palma)	Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	Interpretación (Salino)
3.2 Flor S	3.47	Poco
4.8 Flor S	6.32	Medianamente
6.4 Flor S	8.98	Muy
3.2 $\text{H}_2\text{SO}_4$	7.75	Medianamente
4.8 $\text{H}_2\text{SO}_4$	4.69	Poco
Testigo	4.69	Poco

Lo opuesto ocurre con dosis incrementales de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  que al aumentar la dosis, la salinidad del suelo es menor. Esto debido probablemente a que con mayor cantidad de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , mayor cantidad de hidrogeniones libres se producen, los cuales aparte de reducir el pH significativamente, pueden combinarse con compuestos solubles que influyen en la conductividad eléctrica del suelo; lo cual hace que la cantidad de sales sea menor (Cuadro 9).

#### 4.8 ANÁLISIS FOLIAR

En el Cuadro 10 se observa que existe una mayor absorción de K con 4.8 kg/palma de Flor S debido al ajuste del pH a la disponibilidad óptima del K en el suelo, que se vio reflejado en la absorción de este por la palma. En cuanto a los niveles que presentan deficiencia de K (menor a 1%) se deben básicamente a la misma relación de disponibilidad con el pH, debido a que si bien no hubieron diferencias significativas entre 6.4 Flor S y 3.2 de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  estas fuentes para el pH; hay que recordar que esta variable esta dada en escala logarítmica y que por cada punto de pH que ese aumenta, la acidez del suelo sube 10 veces.

Los mayores niveles de Mg en los tratamientos con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  se justifican debido a la formación de precipitados como  $\text{CaSO}_4$  o  $\text{K}_2\text{SO}_4$  inmediatamente después de la

aplicación; lo que facilitó que se libere un poco más de Mg en relación a estos dos otros cationes y que se balancee un poco esta delicada relación.

Cuadro 10. Análisis foliar como evaluación de enmiendas de S. La Lima, Honduras, 2001.

Tratamiento (kg/palma)	(% )						(ppm)				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
3.2 Flor S	2.9	0.17	1.05	0.71	0.19	<b>0.14</b>	10	77	78	<b>7</b>	22
4.8 Flor S	3.1	0.18	<b>1.21</b>	0.67	0.18	<b>0.15</b>	10	73	115	<b>5</b>	30
6.4 Flor S	3.1	0.18	<b>0.96</b>	0.68	0.19	<b>0.15</b>	12	65	123	<b>7</b>	15
3.2 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2.8	0.17	<b>0.92</b>	0.66	<b>0.21</b>	<b>0.15</b>	10	68	121	<b>5</b>	17
4.8 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2.9	0.17	1.04	0.68	<b>0.24</b>	<b>0.14</b>	10	56	91	<b>5</b>	18
Testigo	3.0	0.17	1.05	0.63	0.17	<b>0.16</b>	12	51	107	<b>5</b>	17

También se observa una deficiencia de S marcada en todos los tratamientos (<0.2 ppm), debido a la formación de precipitados con K y Ca que disminuyen la disponibilidad de SO<sub>4</sub> para la palma y que se refleja en la absorción de S por la planta.

El Zn también se encuentra en deficiencia (10 ppm mínimo) debido a que el pH al que se redujo el suelo con las enmiendas aplicadas; no es el óptimo para asegurar la mayor disponibilidad de Zn y esto se reflejó en la absorción por la palma.

#### 4.9 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES DE SUELO Y CRECIMIENTO. LA LIMA, HONDURAS. 2001.

		<u>Ca/K</u>	<u>Ca+Mg/K</u>	<u>Mg/K</u>
Tasa Emisión Foliar	<b>r</b>	0.35	0.36	0.35
(TEF)	<b>p≤</b>	0.001	0.008	0.001

La TEF se correlacionó significativamente con las relaciones entre cationes; sin embargo, el coeficiente **r** de Pearson es demasiado bajo lo que limita la habilidad predictiva de estas relaciones frente a la tasa de emisión foliar. Para el resto de variables; las correlaciones fueron no significativas con **p≤ 0.05**.

Esto significa que en un 35% de los casos; la TEF aumentará de acuerdo al incremento de las relaciones Ca/K Ca+Mg/K y Mg/K bajo las mismas condiciones de este experimento.

## 5. CONCLUSIONES

1. Los valores de pH del suelo bajaron con la aplicación de cualquier fuente de S.
2. Las fuentes más efectivas para reducir el pH fueron las de ácido sulfúrico junto con las dosis superiores de Flor de azufre, siendo la dosis mas alta de Flor de S la que más redujo el pH.
3. No se logró reducir la saturación de Ca en el suelo como efecto de las enmiendas de S.
4. La concentración de sales se incrementó debido a la formación de sulfato de calcio en la reacción de suelo y fue más alta con Flor de S.
5. Los cambios observados en las concentraciones de Ca no fueron estables.
6. Se encontraron correlaciones positivas entre la tasa de emisión foliar y las relaciones entre cationes pero son de bajo poder predictivo.
7. Las dosis de S no tuvieron efecto en el crecimiento de la palma.
8. El análisis foliar reveló deficiencias de Zn, S, Mg y K.

## 6. RECOMENDACIONES

1. Continuar con los registros de crecimiento y pH para determinar si el Ca afecta posteriormente a la absorción de K o Mg. Esto debido a que el requerimiento de K se eleva después del 2do año y está ligado también a la absorción de Mg.
2. Monitorear la calidad del agua de riego porque esto puede afectar las condiciones de pH y contenido de Ca y carbonatos en el suelo.
3. Experimentar con dosis mas altas de S y Mg utilizando fuentes alternativas al Flor de S y ácido sulfúrico para equilibrar la absorción de bases y monitorear esto con análisis foliares periódicos.
4. No utilizar dosis altas de Flor S porque causa un incremento en la concentración de sales.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrews, M., 1999. Apuntes del curso Fertilidad y Manejo de Suelos, Zamorano, Honduras. 54p.

ASD-Costa Rica, sf. Cultivo de palma africana(on line). Accesado el 12 de marzo del 2001. Disponible en <http://www.asd-cr.com>

Brady, N.C.; Weil, R.R. 1999. The nature and properties of soils. Twelfth edition. New Jersey, USA. Prentice-Hall., 881p.

Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), 1993. Manual de Métodos de Análisis de Suelos. Ministerio de Agricultura y Ganadería. División de Investigación Agrícola. San Andrés, La Libertad, El Salvador.

Fertilizer advisory, development and information network for Asia and the Pacific (FADINAP); FAO; The Sulphur Institute; Australian Centre for international Agricultural Research. 1987. Proceeding of the Symposium on Fertilizer Sulphur Requirements and Sources in Developing Countries of Asia and the Pacific. 181p

Ortiz R.; Fernández O. 1994. El cultivo de la palma aceitera. San José, Costa Rica. Editorial Universidad Estatal a Distancia. 208p.

Paz, P. 1999. Apuntes del curso de Cultivos industriales. Cultivo de palma africana, requerimientos ambientales, suelo. Zamorano, Honduras. 44p.

Potash and Phosphate Institute, East and Southeast Asia Program. 2001. Foundation for Agricultural Research. K deficient symptoms in oil palm. N, P, K, Mg uptake of oil palm in the first 10 years after planting (on line). Malaysia. Accesado el 10 de marzo del 2001. Disponible en [http://www.ppi-far.org/ppiweb/seasia.nsf/\\$webindex/DA4ACFEDE1090FBF06256983005BF6FD](http://www.ppi-far.org/ppiweb/seasia.nsf/$webindex/DA4ACFEDE1090FBF06256983005BF6FD)

Swift, C. sf. Alakaline soils and the buffering effect of calcium carbonate. Colorado State University. Cooperative Extension Tri River Area. Actualizado el 13 de abril de 1997. Disponible en <http://www.colostate.edu/Depts/CoopExt/TRA/PLANTSalksoil.html>

Tisdale, S.L.; Nelson, W.L.; Beaton, J.D.; Havlin, J. 1993. Soil fertility & fertilizers. Fifth edition. New York, USA. McMillan Publishing Company. 634 p.