

# El papel del fósforo en el desarrollo sostenible de la palma de aceite (*Elaeis Guineensis*, Jacq.) Producción en suelos tropicales

The role of phosphorus in the sustainable development of oil palm (*Elaeis Guineensis*, Jacq.) Production in tropical soils

AUTOR



**Zaharah A. Rahman**

University Putra Malaysia, Malaysia  
zaharahagri.upm.edu.my

Palabras CLAVE

Fósforo en la palma de aceite, fósforo en el suelo, manejo de suelos

Phosphorus in oil palm, phosphorus in the soil, soil management

## Resumen

La presentación muestra el papel que desempeña el fósforo (P) en el desarrollo general de las plantas, y en particular de la palma de aceite en suelos tropicales. Se especifica su acción en ausencia o en presencia de otros elementos químicos, y sus fuentes más importantes. En conclusión, la roca fosfórica (RF) constituye una buena alternativa para incrementar la fertilidad del suelo, debido a que mejora el fósforo, el calcio y el pH, entre otras cosas. Con ella mejora igualmente el comportamiento de la palma de aceite en cuanto a rendimiento y contenido de aceite.

## Abstract

The presentation shows the role of phosphorus (P) in the overall development of plants, especially palm oil, in tropical soils. It explains its behavior in the absence or presence of other chemical elements, as well as its most important sources. In conclusion, phosphate rock is a good alternative to increase soil fertility as it improves phosphorus, calcium and pH, among other things. Phosphate rock also improves the performance of oil palm in terms of yield and oil content.

## Introducción

Suelos altamente degradados y lixiviados incluyen oxisoles y algunos ultisoles en la taxonomía de suelos de USDA, y Ferrasoles y Acrisoles en el sistema FAO-Unesco. Estos, en los que predominan la caolinita, el hierro y los óxidos de aluminio, son comúnmente usados en el cultivo de palma de aceite. Aparentemente tienen una estructura fina y bien agregada, pero son porosos, carecen de arcillas expandibles y son propensos a la sequía durante períodos secos.

El alto contenido de óxidos causa fuerte adsorción de iones de fosfato. Los suelos tienen valores bajos de pH y alta saturación de aluminio; por tanto, pierden con facilidad sus cationes intercambiables bajo lluvias fuertes. Algunos pueden tener gravilla de plintita en todo el perfil o en capas. Aunque estas propiedades adversas no impiden el cultivo de la palma de aceite, exigen un alto nivel de manejo del cultivo (Corley y Tinker, 2003).

La producción en suelos ácidos es con frecuencia limitada por uno o más de los siguientes factores: toxicidad de aluminio (Al) y manganeso (Mn) y deficiencias de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) o molibdeno (Mo). La deficiencia de fósforo es particularmente prevalente, y su aplicación en formas orgánicas, como por ejemplo abonos animales y residuos de plantas, o formas inorgánicas, como roca fosfórica (RF), es ampliamente recomendada para mantener la productividad (Willet *et al.*, 1996). El fosfato muestra una fuerte afinidad por el aluminio (Al) y el hierro (Fe) en los suelos, y es absorbido reemplazando grupos OH y H<sub>2</sub>O coordinados a átomos de Al y Fe (intercambio de ligandos). Los suelos ácidos pueden tener alta capacidad de fijación de fósforo si en la mineralogía de las arcillas predominan los óxidos e hidróxidos de aluminio y hierro, y porque la materia orgánica puede estar formando un complejo con aluminio (Willet *et al.*, 1996).

La concentración de fósforo en la solución del suelo, a diferencia de los otros macronutrientes, es generalmente muy baja, especialmente en suelos ácidos tropicales y subtropicales. Inclusive en potreros fertilizados y suelos cultivados, la concentración de fósforo en la solución del suelo es generalmente menos de 4  $\mu$ M (Asher, [1986], citado por Willet *et al.*, 1996).

Debido a que la fuente inmediata de fósforo está en la solución del suelo, el objetivo de la aplicación de fertilizante es aumentar esta concentración a un nivel donde la absorción de fósforo no sea una limitante del rendimiento.

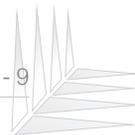
En suelos con alta fijación de fósforo, se puede requerir una cantidad excesiva de fertilizante fosfatado, aplicado al voleo o incorporado, para alcanzar esta concentración de P en la solución. Por ejemplo, la cantidad de P requerida para aumentar la concentración en la solución del suelo a 0,2 mg P/L (6 $\mu$ M) en algunos oxisoles y ultisoles en Centroamérica fluctúa entre 8 y 710 mg P/kg (Fox [1982], citado por Willet *et al.*, 1996). Esto significa un requerimiento de fertilizante entre 8 y 710 kg P/ha para elevar los 10 cm superiores a esta concentración de P en la solución, y muestra la gran variabilidad en capacidad de fijación de P que se puede presentar en estos suelos.

## El fósforo en la planta

El fósforo (P) es uno de los 17 nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. Sus funciones no pueden ser realizadas por ningún otro nutriente, y se requiere un adecuado suministro de él para el óptimo crecimiento y reproducción de la planta. El fósforo es clasificado como un elemento mayor, lo que significa que es requerido en cantidades relativamente grandes. La concentración total de este elemento en cultivos agrícolas generalmente varía entre 0,1 y 0,5%. El fósforo es vital para el crecimiento de la planta y se encuentra en cada una de sus células. Está involucrado en varias funciones clave de la planta, incluyendo transferencia de energía, fotosíntesis, transformación de azúcares y almidones, movimiento de nutrientes dentro de la planta y transferencia de características genéticas de una generación a otra (Anónimo, 1999).

## Reacciones energéticas de la planta

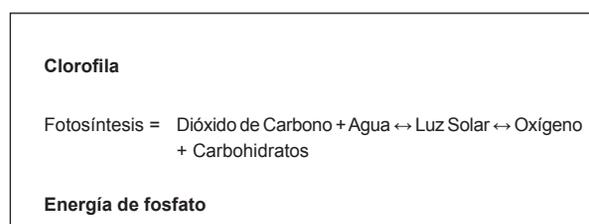
El fósforo virtualmente juega un papel vital en todos los procesos de la planta que involucran transferencia de energía. El fosfato de alta energía, parte de las estructuras químicas de difosfato de adenosina (ADP) y trifosfato de adenosina (ATP) es la fuente de energía que impulsa la multitud de reacciones químicas dentro de la planta. Cuando ADP y ATP transfieren el fosfato de



alta energía a otras moléculas (fosforilación), el escenario queda preparado para iniciar muchos procesos esenciales (Anónimo, 1999).

## Fotosíntesis

La reacción química más importante en la naturaleza es la fotosíntesis. Utiliza energía lumínica en presencia de clorofila para convertir dióxido de carbono y agua en azúcares simples, con la energía siendo capturada en ATP. El ATP es entonces disponible como fuente de energía para las muchas otras reacciones que ocurren dentro de la planta, y los azúcares se usan como componentes básicos para producir otros componentes estructurales y de almacenamiento de la célula (Anónimo, 1999).



## Transferencia genética

El fósforo es un componente vital de las sustancias que conforman los genes y los cromosomas. Por tanto, es una parte esencial del proceso de transferencia del código genético de una generación a otra, proporcionando el “plano” para todos los aspectos de crecimiento y desarrollo de la planta. El suministro adecuado de P es esencial para el desarrollo de nuevas células y la transferencia del código genético de una célula a otra a medida que se van formando nuevas células. Grandes cantidades de P se encuentran en las semillas y los frutos, y se cree que el P es esencial para la formación y desarrollo de las semillas. El fósforo también es un componente de la fitina, una importante forma de almacenamiento de fósforo en las semillas. Cerca del 50% del P total en semillas de legumbres y 60-70% en cereales se almacena como fitina o compuestos estrechamente relacionados. Un suministro inadecuado de P puede reducir el tamaño, número y viabilidad de las semillas (Anónimo, 1999).

## Transporte de nutrientes

Las células de la planta pueden acumular nutrientes en concentraciones mucho más altas de las que se

encuentran en la solución del suelo. Esto permite a las raíces extraer nutrientes de la solución del suelo donde se encuentran en concentraciones muy bajas. El movimiento de los nutrientes dentro de la planta depende en gran parte del transporte a través de las membranas celulares, lo que requiere energía para contrarrestar las fuerzas de la osmosis. Aquí nuevamente, ATP y otros compuestos de P de alta energía proporcionan la energía necesaria (Anónimo, 1999).

## Absorción y transporte del fósforo

El fósforo entra a la planta por los pelos y ápices de la raíz y las capas exteriores de las células radiculares. Las micorrizas que crecen en asociación con las raíces en muchos cultivos también facilitan la absorción. El fósforo es absorbido principalmente como ion-ortofosfato primario ( $H_2PO_4^-$ ), pero también como ortofosfato secundario ( $HPO_4^{2-}$ ); esta última forma aumenta a medida que sube el pH. Una vez dentro de la raíz, el P se puede almacenar en ella o ser transportado a la parte superior de la planta. Mediante varias reacciones químicas se incorpora en compuestos orgánicos, incluyendo los ácidos nucleicos (DNA y RNA), fosfoproteínas, fosfolípidos, fosfatos de azúcar, enzimas, y compuestos de fosfato de alta energía como ATP. Es en estas formas orgánicas, lo mismo que el ion de fosfato inorgánico, es que el P es transportado a toda la planta, donde está disponible para otras reacciones (Anónimo, 1999).

## Dinámica del suelo

Los valores pKa del ácido fosfórico son 1.6 y 12. En un rango de pH entre 5.5 y 7.0, la forma dominante es  $H_2PO_4^-$ , y la disponibilidad de P es la más alta. A valores de pH más bajos se forman fosfatos insolubles de hierro y aluminio, y a valores de pH por encima de 7.0 se forman fosfatos insolubles de calcio y magnesio. El fósforo liberado de la descomposición de residuos vegetales puede ser una fuente relativamente significativa de P disponible (Benton, 2003).

## Fertilizantes

El fósforo en los fertilizantes se expresa como fosfato o  $P_2O_5$ . Las principales fuentes de P son superfosfato normal (0-20-0), superfosfato triple (0-46-0), fosfato monoamonio (MAP,  $NH_4H_2PO_4$ , 11-48-0), fosfato

diamonio [DAP,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , 18-46-0], fosfatos de amonio, superfosfato amonizado, fosfato de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) roca fosfórica (PR) (Benton, 2003).

### Rango de suficiencia

Las concentraciones de fósforo en hojas maduras fluctúan entre 0,2 y 0,5%. El contenido de fósforo en las partes de la planta en crecimiento activo es más alto porque el intenso anabolismo requiere múltiples reacciones de transferencia de energía que involucran ATP (Benton, 2003).

### Deficiencia

La deficiencia de fósforo ocurre generalmente cuando el contenido de P en la planta es menos de 0,2%. La deficiencia temporal de P puede ser causada por baja temperatura del suelo, especialmente después de las siembras de primavera. Por eso es que el P como DAP se incluye en las formulaciones de fertilizantes complementarios.

La deficiencia de fósforo conduce a crecimiento retardado y más bajas proporciones de brotes/raíces. Los síntomas incluyen color verde oscuro en las hojas más viejas. Aparecen áreas moradas y necrosadas en las márgenes de las hojas. La deficiencia da como resultado baja producción de frutos, semillas y flores de mala calidad (Benton, 2003). Al contrario de la mayoría de otros nutrientes, las hojas con deficiencia de P no muestran síntomas específicos en la palma de aceite fuera de una longitud reducida. Otro síntoma visible de deficiencia de P en palma de aceite es el crecimiento retardado con hojas cortas de color verde oscuro. El diámetro del tronco y el tamaño del racimo también se reducen, y las palmas muestran una forma pronunciada de pirámide debido al agotamiento progresivo de P.

Es difícil establecer leguminosas de cobertura en suelos pobres en P. Los cultivos de cobertura de leguminosas con deficiencia de P tienen hojas pequeñas y crecen en parches dispersos (Schorrocks, 1964). Bajo esta situación, *Imperata cylindrica* y otras gramíneas generalmente superan a los cultivos de leguminosas de cobertura. Otras plantas que indican suelos ácidos, pobres en P son Straits rhododendron (*Melastoma malabathricum*), y tropical bracken (*Dicranopteris linearis*).

En suelos tropicales, la mayoría del P disponible se encuentra en la capa vegetal. Cuando se aplica suficiente P a los cultivos de leguminosas de cobertura al momento de la siembra, el suelo queda cubierto con un material protector vivo que reduce la pérdida de P causada por erosión y escorrentía. La aplicación de P en tierras pendientes siempre debe ser complementada con medidas de conservación del suelo (terrazas, plataformas, muros de contención) (Goh & Hardter, 2003).

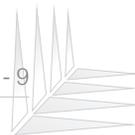
### Toxicidad

Los niveles muy altos de P pueden afectar el crecimiento, principalmente por la disminución en la absorción y traslocación de zinc (Zn), hierro (Fe) y cobre (Cu). La toxicidad ocurre cuando el nivel de P en los tejidos excede 1.00% (Benton, 2003). Se ha reportado que aplicaciones excesivas de P soluble (superfosfato triple [TSP], fosfato diamonio [DAP]) inducen deficiencias de Zn y Cu en suelos muy arenosos y suelos de turba en el norte de Sumatra (Indonesia) y en Malasia (Goh & Hardter, 2003).

### Interacción con otros elementos

Para muchos cultivos, una proporción 10:1 de N:P es considerada óptima. En suelos alcalinos, los fertilizantes amoniacales aumentan la disponibilidad de P a causa de sus efectos acidificantes. El mayor contenido de Ca en la solución aumenta la absorción de P, posiblemente porque el Ca estimula al transporte de P en las membranas mitocondriales. Sin embargo, todas las sales de fosfato de calcio son poco solubles en agua en valores altos de pH (Benton, 2003).

El magnesio es un activador de quinasas y activa muchas reacciones que involucran transferencia de fosfatos. El aluminio puede formar fosfatos de aluminio en regiones intercelulares de los ápices de las raíces, lo que restringe la absorción de fósforo, y generalmente altos niveles de fósforo en la raíz ocurren con altos niveles de aluminio. No es claro si el fósforo es disponible para las plantas. Se cree que el hierro interfiere con la absorción, traslocación y asimilación de fósforo con la formación de fosfatos de hierro. Altos niveles de P inducen síntomas de deficiencia de Zn en plantas con niveles adecuados de Zn. Por otro lado, se ha encontrado que altos niveles de Zn interfieren con el metabolismo normal de P (Benton, 2003).



### Interacción de aluminio y fósforo

La toxicidad de aluminio y la deficiencia de fósforo son los mayores problemas nutricionales y los factores más limitantes del rendimiento en climas tropicales húmedos. La falta de fósforo disponible se debe al fósforo químicamente ligado como fosfato de hierro o aluminio. Este último proceso es reversible. En texturas más gruesas se han observado buenas respuestas del cultivo a cantidades pequeñas de fertilizantes fosfatados, pero en texturas más pesadas con gran capacidad de fijación de fósforo, se requieren cantidades más grandes de este elemento, combinadas con estrategias apropiadas de cultivo.

En circunstancias apropiadas, se puede usar roca fosfórica reactiva finamente molida. El encalado es importante pero se debe evitar el exceso de cal (Amberger, 2006). Además de seleccionar una fuente apropiada de fósforo (fosfato procesado o roca fosfórica) y un método correcto de aplicación, se pueden explotar las diferencias genéticas entre cultivos y variedades. Tanto los cultivos como las variedades difieren en su tolerancia a la toxicidad de aluminio y manganeso. Las plantas resistentes al aluminio, como el té o la yuca, pueden soportar hasta 40% de saturación de éste. Para lograr esta tolerancia, las plantas liberan grandes cantidades de quelantes, como citrato, oxalato y malato, y compuestos fenólicos y flavonoides. Estos exudados forman compuestos estables o no tóxicos, o menos tóxicos, con iones de aluminio. La identificación e introducción de variedades que tengan el mecanismo de desintoxicación de aluminio sería de gran utilidad para los pequeños productores. Las sustancias quelantes liberadas por las plantas y los microorganismos tolerantes a aluminio también desorben los fosfatos fijados a cambio de aniones orgánicos (Amberger, 2006).

### Tasas de aplicación de fósforo

Debido a que la mayoría de los suelos usados para el cultivo de palma de aceite son ácidos y con deficiencias de fósforo, se debe hacer una aplicación general única de 60–130 kg/P por hectárea en forma de roca fosfórica reactiva para garantizar el rápido establecimiento del cultivo de leguminosas de cobertura. Parte del fósforo aplicado es usado por el cultivo de leguminosas de cobertura y depositado nuevamente en la superficie del suelo en forma de hojarasca. Cuando el cultivo de leguminosas de cobertura desaparece por la sombra creada cuando se cierra del dosel, todo el fósforo contenido en la biomasa del cultivo de cobertura regresa al suelo (Goh & Hardter, 2003).

Un experimento de campo establecido en un suelo de la serie Bungor (Kandiudult Típico), donde se aplicó roca fosfórica reactiva (RF de Jordania) al cultivo de leguminosas de cobertura (*Mucuna bracteata*) a 0, 200 y 600 kg RF/ha en palmas 25-48 meses después de la siembra, ha mostrado una respuesta positiva a la aplicación de 300 kg/ha de RF (Tabla 1).

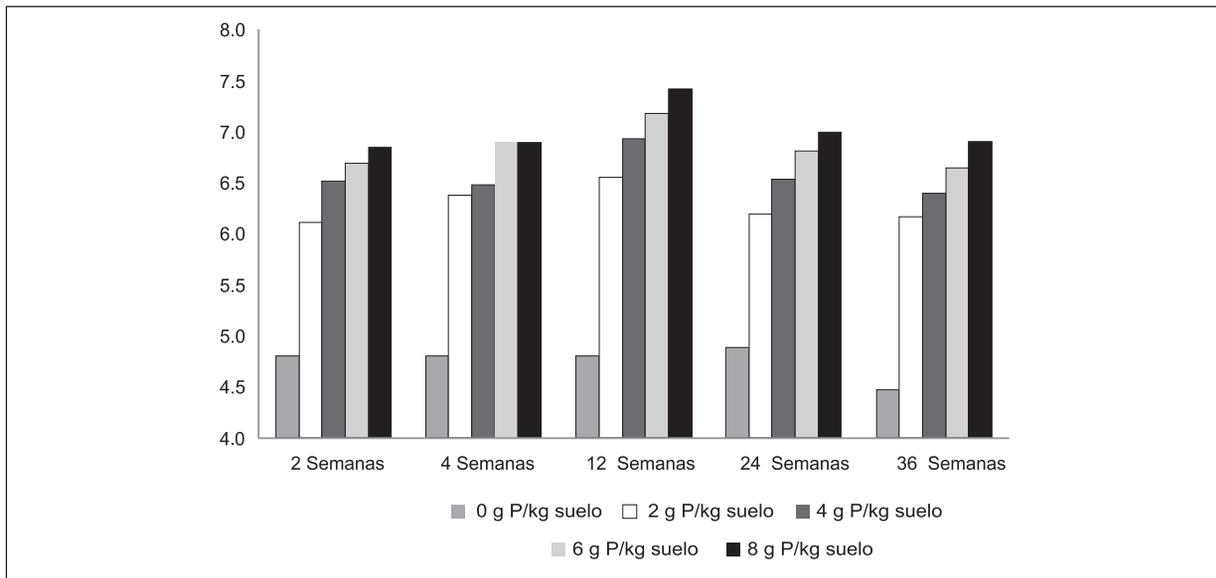
La gama de fertilizantes fosfatados va desde fuentes solubles en agua (Ej.: TSP, SSP, fosfato monoamonio [MAP], DAP, compuestos de NPK) a rocas fosfóricas parcialmente aciduladas y rocas fosfóricas de reactividad variable. Las rocas fosfóricas tienen una amplia gama de contenido y solubilidad de fósforo (8-24% P). La selección del fertilizante fosfatado depende en gran parte de la eficiencia agronómica y económica (Ej.: Proporción costo/eficiencia) de la fuente.

En suelos ácidos, la roca fosfórica de buena calidad es la fuente de fósforo más aconsejable, pero se debe seleccionar una fuente con una solubilidad en ácido cítrico de >8,5%, finamente molida que pase por un tamiz de 80-100  $\mu\text{m}$ . Para palma de aceite, tanto las condiciones del suelo (valores bajos de pH) como el

**Tabla 1.** Efecto de P aplicado a leguminosas en los rendimientos de RFF\* (25 a 48 meses después de siembra)

P a leguminosas (kg RF/ha)	25 a 36 meses	37 a 48 meses RFF (t/ha/año)	Media 25 a 48 meses
0	13	18,7	15,9
200	14,5	20,7	17,6
600	12,9	18,7	15,8
p- value	0,06	0,01	0,02

\*Rendimiento de RFF extrapolado a una hectárea, con base en 138 palmas/ha



**Figura 1.** Cambios del pH del suelo con la aplicación de RF de Argelia.

largo ciclo de crecimiento (>25 años) favorecen el uso de roca fosfórica. Para palmas jóvenes ( $\leq 3$  años después de la siembra), se recomienda una aplicación basal de 0,2-0,5 kg/palma de roca fosfórica reactiva en el hoyo de siembra y aplicaciones anuales de fósforo soluble (Ej.: TSP, DAP) o compuestos de NPK de buena calidad (Goh & Hardter, 2003). Harjotedjo *et al.* (1996) reportaron que para palmas inmaduras (2-19 meses después de la siembra) cultivadas en suelos Oxic Dystropepts franco arenosos, TSP dio respuestas significativas en el número y longitud de las hojas, y corte transversal del pecíolo de la tercera hoja, 12 meses después de la siembra. Pero a los 24 meses después de la siembra, todos los tratamientos con fósforo (TSP, NCPR y JPR) tuvieron efectos significativos en todos los parámetros de crecimiento. El rendimiento de RFF obtenido con tratamientos de TSP fue significativamente más alto que con NCPR y JPR. Sin embargo, estas diferencias disminuyeron con el tiempo.

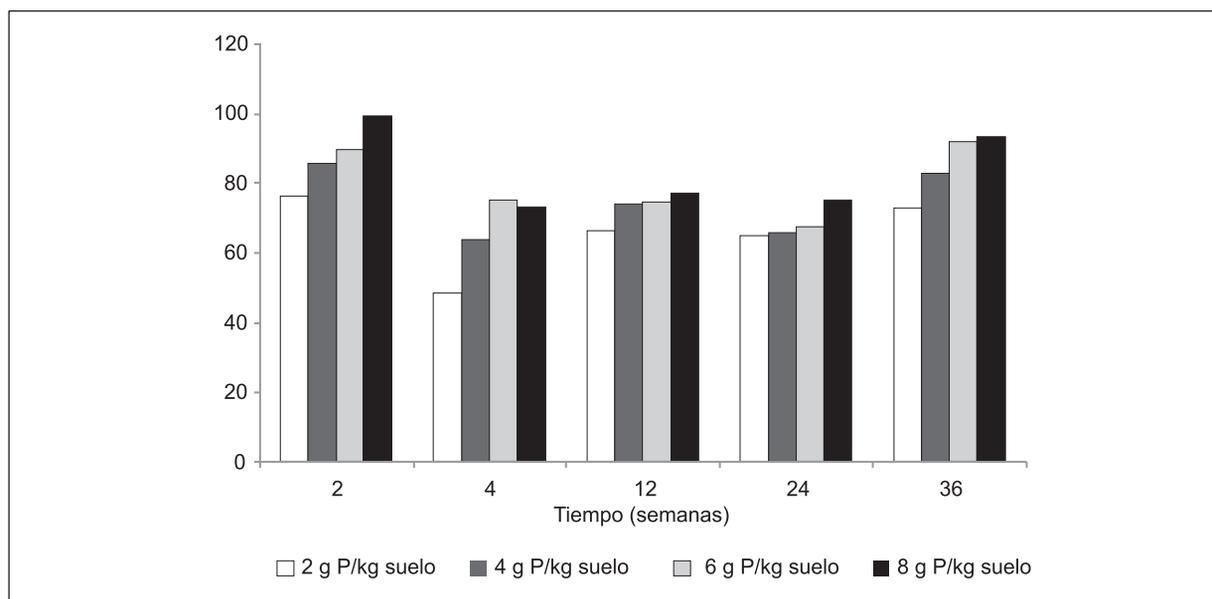
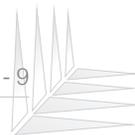
Disolución de RF en un suelo ácido de Malasia usando seis fuentes de RF (Carolina del Norte, Argelia, Jordania, China, Isla Navidad) y superfosfato triple a 2, 4, 6 y 8 g P/kg suelo mostró que el pH del suelo aumenta con la tasa de aplicación de fósforo y la reactividad de la RF (Figura 1) (Lubis, 1997). El aumento del pH del suelo se debe parcialmente al consumo de protones durante la disolución de apatita:



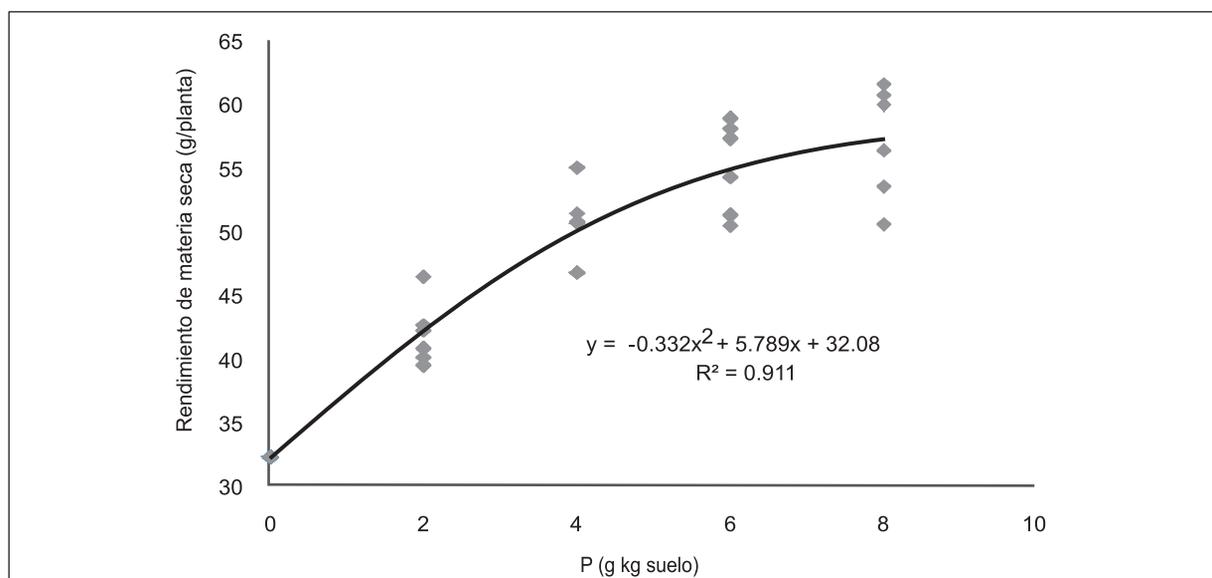
(Kanebo and Gilkes, 1988).

Además de los iones H consumidos por la acidificación de la RF, las bases liberadas son neutralizadas por los iones H, causando un incremento adicional del pH del suelo por cada mol de fósforo liberado. Mientras mayor sea el grado de sustitución de carbonato en la apatita, mayor será el aumento del pH del suelo por cada mol de fósforo disuelto (Chien, 1977). El fósforo extraíble (Bray 1 y Olsen) aumentó rápidamente con la aplicación de fósforo (Figura 2). El Ca intercambiable también aumentó con el aumento en la cantidad y frecuencia de las aplicaciones. Las plántulas de palma de aceite respondieron positivamente a la aplicación de RF con 4g P/kg de suelo como la tasa óptima de aplicación (Figura 3).

En suelos muy ácidos (pH <4.5) se puede usar roca fosfórica reactiva dos años después de la siembra (Goh & Chew, 1995). Los requerimientos de fósforo para palmas maduras ( $\geq 8$  años de edad) son menores, siempre y cuando se hayan venido acumulando reservas de P en el suelo durante los primeros ocho años después de la siembra, de tal manera que se puede disminuir la aplicación de roca fosfórica reactiva (Zakaria *et al.*, 2001). Otras fuentes de fósforo incluyen EFB, BA, POME, y hojas podadas.



**Figura 2.** P Bray -1 extraíble en suelo tratado con RF de Argelia.



**Figura 3.** Efectos generales de RF en el rendimiento de materia seca de plántulas de palma de aceite (nueve meses después del tratamiento).

En condiciones de campo se ha observado un aumento de P Bray-1 en el suelo donde se han aplicado diferentes cantidades de roca fosfórica reactiva (0-1200 kg RF/ha) al cultivo de leguminosas de cobertura, en comparación con las condiciones del suelo antes de las aplicaciones (Tabla 2) y el fósforo permaneció entre 0 y 7 cm de la capa superior del suelo (Tabla 3).

### Época de aplicación de fósforo

Debido a que el fósforo es retenido por los coloides del suelo (partículas de arcilla, SOM) las pérdidas de fósforo por lixiviación son pequeñas con excepción, tal vez, en suelos muy gruesos, arenosos, que contienen pequeñas cantidades de arcilla y SOM. El fertilizante fosfatado permanece cerca a la superficie del suelo donde ha sido aplicado y por tanto es particularmente vulnerable

**Tabla 2.** P Bray-1 en el suelo (mg/kg) Tratado con diferentes cantidades de roca fosfórica de Jordania (jpr)

Tratamiento	Año 2005	Año 2003 (antes de tratamiento) P Bray I en el suelo (mg/kg)
1200kg jpr/ha	18,18a	13,34a
600kg jpr/ha	14,57a	13,44a
200kg jpr/ha	14,21a	13,52a
0 kg jpr/ha	22,29a	13,81a
600 kg tsp/ha	15,17a	13,61a
600 kg Sechura RF/ha	14,77a	13,65a

Nota: los valores seguidos por la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes a  $P \geq 0.05$  determinado por Tukey.

**Tabla 3.** P Bray-1 en el suelo a diferentes profundidades del suelo

Profundidad del suelo (cm)	Año 2005	Año 2003 (antes del tratamiento) P Bray I en el suelo (mg/kg)
0-7	21,32a	14,53a(0-15cm)
7-15	14,52a	
15-30	14,08b	14,51a
30-45	14,09ab	12,03b

Nota: los valores seguidos por la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes a  $P \leq 0,05$ .

a la pérdida por erosión y escorrentía. La época de aplicación no es una consideración importante, pero la absorción por parte de las plantas depende de un adecuado suministro de humedad del suelo debido a la relativa pobre movilidad del fósforo en el suelo (Goh & Hardter, 2003).

Análisis de suelos realizados en áreas cultivadas con palma de aceite que fueron fertilizadas con roca fosfórica por ocho años (1992-2004) mostraron que el suelo tratado con TSP presentó la cantidad más alta de fósforo extraíble, pero el valor más bajo de fósforo total en comparación con suelos tratados con roca fosfórica. Tasas más altas de aplicación de fertilizante dieron por resultado un aumento en el fósforo total y disponible. La concentración de fósforo disminuye con la profundidad del suelo, con la más alta concentración de fósforo en los 0-7 cm de la capa superior del

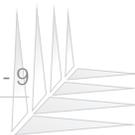
suelo. La aplicación continua de fertilizante durante 12 años mostró más alta concentración de fósforo en el suelo en comparación con lotes que fueron fertilizados durante 8 años. Al-P y Fe-P son las fracciones dominantes de fósforo en el suelo. Sólo una pequeña proporción del fósforo del suelo es disponible (Carbonato-P). Una cantidad relativamente grande se encuentra en forma de fracción Ca-P y las menores cantidades se encuentran en forma de FeO-P y FeOH-P. (Tabla 4) (Liew, 2006).

### Colocación del fertilizante fosfatado

El fertilizante fosfatado se debe aplicar sobre el suelo en el círculo desmalezado alrededor de las palmas jóvenes (<3 años después de la siembra) cuando el sistema radicular de la palma es más activo. Sin embargo, en plantaciones maduras donde las raíces

**Tabla 4.** P total y fracciones de P en el suelo (mg P/kg suelo) después de 12 años de aplicación

Fertilizante-P	P Total	Al- & Fe-P	Carbonato-P	FeO- & FeOH-P	Ca-P
TSP	205,3 a	5,41 a	0,54 a	0,27 a	0,69 b
RF Carolina del Norte	226,2 a	3,28 ab	0,20 b	0,20 b	0,96 b
RF Jordania	219,7 a	2,51 b	0,11 b	0,27 a	2,40 a
RF Isla Navidad	340,0 a	4,84 ab	0,07 b	0,24 a	1,53 ab
RF China	430,2 a	3,14 ab	3,14 ab	3,14 ab	1,49 ab



de una palma se pueden extender hasta 20-30 m, el fósforo se debe aplicar al voleo entre hileras (excepto en áreas de caminos). Debido a que la absorción de fósforo es mayor donde existe una proliferación de raíces cuaternarias cerca a la superficie del suelo, se ha sugerido que la mayoría de éste se debe aplicar sobre la pila de hojas donde la superficie del suelo está protegida contra erosión y escorrentía.

Un experimento reciente llevado a cabo en una palma de 6 años de edad sembrada en un suelo Paleudult típico donde se aplicó roca fosfórica en el círculo desmalezado alrededor de la palma o bajo el follaje no mostró diferencias significativas en el rendimiento obtenido (Tabla 5).

### Concentración foliar óptima de fósforo

La concentración óptima a nivel foliar fluctúa entre 0,15-0,19% P. Las concentraciones foliares de P < 0,13% indican deficiencia, especialmente si se

encuentra en combinación con altos niveles de nitrógeno (Tabla 6). La estrecha interdependencia de nitrógeno (N) y fósforo (P) fue estudiada por Ollagnier & Ochs (1971), quienes definieron una curva crítica para fósforo foliar dependiendo del contenido foliar de nitrógeno, para reflejar la proporción entre nitrógeno y fósforo en compuestos proteínicos. Por tanto, se debe incluir una evaluación del estado del fósforo en la palma con referencia a la proporción N:P, lo mismo que la concentración foliar de fósforo. Por ejemplo, las palmas pueden presentar deficiencia de fósforo aun cuando la concentración de éste sea mayor que el valor crítico comúnmente usado de 0,15%, si la concentración foliar de nitrógeno es 2,5% (Goh & Hardter, 2003).

### Niveles óptimos de fósforo en el suelo

Suelos con bajas concentraciones de fósforo total y disponible pueden mostrar deficiencia de fósforo (total P < 400 mg/kg, Olsen- P < 30 mg/kg, Bray- 2 P < 20 mg/

**Tabla 5.** Efectos de la colocación de RF y N K Mg en los rendimientos de RFF

Colocación de fertilizante P	Fuente de P	Tasa P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/palma)	Rendimiento RFF (t/ha) con base en colocación de N K Mg			
			Pila de Hojas		Avenue	
			Media 2003-2004	Media 2003-2004	Media 2003-2004	Media 2005-2007
Pila hojas	RF reactividad baja	0,5	32,56 (98)	29,06 (99)	-	-
		1	30,04 (91)	28,94 (99)	-	-
		Media	31,30 (95)	29 (99)		
	RF reactividad alta	0,5	32,55 (99)	29,64 (101)	29,37 (90)	28,54 (97)
		1	32,57 (98,6)	30,20 (103)	31,29 (96)	29,51 (101)
		Media	32,56 (99)	29,92 (102)	30,33 (93)	29,03 (99)
Avenue	RF reactividad alta	0,5	29,20 (88)	29,22 (100)	31,07 (96)	29,89 (102)
		1	34,01 (103)	29,28 (100)	30,06 (93)	30,26 (103)
		Media	31,61 (96)	29,25 (100)	30,57 (94)	30,07 (103)
Nil		0	33,05 (100)	29,25 (100)	32,49 (100)	29,32 (100)

**Tabla 6.** Clasificación de niveles de P en la hoja # 9 (< 6 años de edad) y # 17 (> 6 años de edad)

Referencia	Hoja # 17			Hoja # 9		
	Deficiencia	Óptimo	Exceso	Deficiencia	Óptimo	Exceso
Ferrand 1960*		0,15				
Ollagnier, 1970*		0,15				
Rosenquist, 1972*		0,19 - 0,21				
Jacobs and Vonuvexkulk, 1961*		0,21 - 0,23			0,16	
Munear, 2001	0,15	0,18				
Goh and Hardter, 2003	< 0,13	0,15 - 0,18				
Fairhurst <i>et al.</i> , 2005	< 0,14	0,15 - 0,18	> 0,25	< 0,15	0,16 - 0,19	> 0,25

\*Citado por Owen (1992),

**Tabla 7.** Clasificación de niveles de P en suelos tropicales

Referencia	Muy bajo	Bajo	Bajo / Moderado	Alto	Muy alto
Munevar, 2001		< 15	15 - 20	> 20	
Syed Omar, 2001*		0 - 20	20 - 30	30 - 50	> 50
Fairhurst <i>et al.</i> , 2005	< 8	15	20	25	>25

\*Datos no publicados.

kg, Sounders- P < 130 mg/kg). La Tabla 7 muestra la clasificación de fósforo en el suelo para cultivos de palma de aceite en suelos ácidos.

## Experimento con evaluaciones de fósforo

Efectividad de la roca fosfórica natural para plántulas de palma de aceite determinada usando la técnica de dilución de isótopo  $^{32}\text{P}$

La efectividad agronómica de seis rocas fosfóricas (RF): Carolina del Norte (NCPR), Gafsa (GPR), Jordania (JPR), Marruecos (MPR), Isla Navidad (CIPR) y China (CPR) fue evaluada contra superfosfato triple (TSP) para plántulas de palma de aceite en suelos de la serie Rengam (Paleudult Típico) en condiciones de vivero por 12 meses, usando la técnica de dilución de isótopo  $^{32}\text{P}$ . Los resultados (Tabla 5) mostraron que en los primeros tres meses, >91% del fósforo (P) presente en las plántulas era derivado de los materiales de prueba (% PdfF), indicando un poder muy bajo de suministro de fósforo del suelo; no se encontraron diferencias significativas entre las rocas fosfóricas en términos de PdfF. Las cantidades totales de fósforo en la planta (mg P por planta) mostraron que TSP fue la mejor fuente de fósforo durante los primeros tres meses; entre las rocas fosfóricas probadas NCPR, GPR, JPR, y MPR fueron igualmente efectivas, mientras que CIPR y CPR suministraron menores cantidades de fósforo a las plántulas. Estas diferencias pueden ser debidas a la diferente mineralogía de las rocas fosfóricas: NCPR, GPR, JPR, y MPR son de origen sedimentario con mayor sustitución de carbonato, lo que causa la solubilización de la roca fosfórica bajo condiciones de suelos ácidos. En los primeros tres meses, el valor L, que se asume está directamente relacionado con el fósforo disponible del suelo (Frossard *et al.*, [1994], citado por Zulkifli *et al.* [1996]), aumentó 24 veces para TSP y hasta 18 veces para las rocas fosfóricas.

Al final de los seis y nueve meses, los valores más altos tanto en porcentaje de PdfF como mg de fósforo por planta fueron nuevamente obtenidos con TSP. De las rocas fosfóricas, NCPR y GPR fueron la mejor fuente de fósforo, mientras que CIPR y CPR proporcionaron la menor cantidad. El valor más alto de L fue obtenido con TSP, los valores de los tratamientos con roca fosfórica fueron mucho más bajos que con TSP y no se encontraron diferencias significativas entre RF. En los últimos tres meses (9-12 meses), el valor de L para suelos tratados con TSP fue todavía grande: 2401 mg/kg para el testigo, lo que indica que el TSP agregado a estos suelos estaba todavía en forma disponible dos meses después de la aplicación. Esto contradice informes anteriores que han afirmado que el fósforo soluble es fijado en formas no disponibles cuando se agrega a suelos muy ácidos. NCPR y GPR de nuevo mostraron su superioridad comparadas con otras rocas fosfóricas en términos de suministro de fósforo disponible para las plántulas (Zulkifli *et al.*, 1996).

En general, el porcentaje de fósforo derivado de las diferentes fuentes (% PdfF) en los 3, 6, 9 y 12 meses de crecimiento fluctuó entre 81 y 99%, indicando el bajo poder de suministro de fósforo del suelo usado. TSP fue superior a cualquiera de las rocas fosfóricas en el suministro del fósforo requerido durante cada período de tres meses de crecimiento. El fósforo lábil (como lo indica el valor L) aumentó con la adición de todas las fuentes de P. El valor más alto de L fue para TSP, seguido por NCPR, GPR, JPR, MPR, CIPR y CPR, indicando la efectividad relativa de cada fuente de fósforo. La mayoría del fósforo agregado permaneció isotópicamente intercambiable después de un año de cultivo de plántulas de palma de aceite. El orden de suministro de fósforo para plántulas de palma de aceite para 12 meses de crecimiento fue: TSP > NCPR > GPR > JPR > MPR > CPR = CIPR (Zulkifli *et al.*, 1996).

Cuando se expresa en términos de porcentaje de efectividad agronómica relativa (% EAR, Tabla 8), cal-

**Tabla 8.** Valor L y utilización de P por plántulas de palma de aceite después de 3 y 12 meses de crecimiento

Tiempo (meses)	Tratamiento	Valor L (mg kg suelo)	Absor. P (mg por planta)	Pdff (%)	EAR (%)
3	Testigo	44,2b ± 3	17,5b ± 1	0,00	0,00
	TSP	1073 ± 202	43,4 ± 7	95,76 ± 0,83	100
	GPR	779a ± 380	22,5a ± 1,2	93,52a ± 2,49	71,4 ± 30,2
	CPR	585a ± 227	18,8b ± 2,1	91,33a ± 3,98	52,5a ± 22,1
	MPR	591a ± 138	22,8a ± 1,6	92,25a ± 1,8	53,2a ± 13
	CIPR	631a ± 39	17,7b ± 1	92,97 a ± 0,4	60,8a ± 8,2
	JPR	717a ± 233	23,3a ± 2,3	93,34 a ± 2,3	65,4a ± 22
	NCPR	786a ± 26	24,8a ± 1	94,37 ± 0,2	72,1a ± 2,6
12	Testigo	25f ± 12	58d ± 8	0,00	0,00
	TSP	2401 ± 704	625,5 ± 33	99,01 ± 0,3	100
	GPR	954b ± 130	110c ± 24	95,34c ± 0,5	20,6de ± 2
	CPR	484de ± 55	110c ± 24	95,34c ± 0,5	20,6de ± 2
	MPR	594cd ± 104	171b ± 14	96,15 bc ± 0,7	25,5cd ± 4
	CIPR	351e ± 87	83,3bc ± 6	92,51ab ± 1,1	11,8c ± 2,1
	JPR	667c ± 52	170,4b ± 26	96,63abc ± 0,3	28,7c ± 2
	NCPR	1243a ± 135	237a ± 20	98,19 a ± 0,2	54,5a ± 6

Nota: los valores seguidos por la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes a niveles de 5% determinados por DMRT, El promedio para TSP no se comparó debido a su alto valor.

**Tabla 9.** Efecto de la fertilización de P en los rendimientos de palmas jóvenes sembradas en un suelo Paleudult típico en el norte de Sumatra. Adaptado de Tanipura & Panjaitan (1982)

Tratamiento (kg RF por palma/año)	RFF (t/ha/año)					Promedio
	4	5	6	7	8	
0	9,7	12,1	13,2	11,3	16,1	12,5 (100)
1,5	11,6*	18,1**	22,0**	21,6**	25,9**	19,8 (158)
3	12,5**	19,5**	24,0**	24,2**	27,8**	21,6 (173)

\*Significativo a 5%, \*\* significativo a 1%.

culada con base en TSP siendo 100%, todas las rocas fosfóricas tienen valores de % EAR más bajos en el segundo, tercer y cuarto períodos de tres meses que en el primer período. La recuperación de fósforo de cada fuente del elemento fue menos del 1% del fósforo aplicado como roca fosfórica en los primeros tres meses después de la aplicación, y aumentó entre 3 y 16% después de un año. Las tendencias fueron siempre en el orden de NCPR > GPR > JPR > MPR > CIPR > CPR. Los resultados sugieren que el fósforo aplicado como roca fosfórica fue fuertemente fijado en este suelo (Zulkifli *et al.*, 1996).

## Uso de fertilizantes fosfatados en el cultivo de la palma de aceite

Aunque las plantaciones en Indonesia se encuentran en ultisoles, entisoles, inceptisoles, andisoles

o histosoles, Adiwiganda *et al.*, (1994) citado por Poeloengan *et al.* (1996) estimaron que aproximadamente el 60% del área total está en ultisoles, especialmente Paleudult típico, Hapludult típico, Psammentic paleudult y Plintudult típico. Estos ultisoles son normalmente ácidos (pH entre 4.0-5.5) y con bajo fósforo disponible (con frecuencia menos de 10 mg/kg), de tal manera que se espera una gran respuesta al fósforo (Foster *et al.*, 1988, citado por Poeloengan *et al.* [1996]).

Los suelos también tienen bajo contenido de materia orgánica, potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) y tienen alta capacidad de fijación de fósforo (P). En la práctica, el fósforo es aplicado generalmente en menores cantidades que el nitrógeno (N) y el potasio (K); el uso de fósforo como roca fosfórica (RF) para palma de aceite debe aumentarse. En un experimento, una

aplicación anual de 1,5 y 3,0 kg RF por palma aumentó significativamente el rendimiento de palmas maduras jóvenes entre 4 y 8 años en 58 y 73%, respectivamente (Tabla 9). Un hallazgo similar fue reportado por Akbar *et al.* (1977) citado por Poeloengan *et al.* (1996) para palmas de 14 años en un suelo Paleudult típico en el norte de Sumatra. Reportaron que la aplicación de 1,5 y 3,0 kg TSP por palma por año aumento el rendimiento de RFF en 20 y 30% respectivamente, en comparación con el testigo, pero no encontraron diferencias significativas entre las cantidades aplicadas de fósforo.

Por tanto, para palma de aceite la fertilización con fósforo es importante en la mayoría de los Ultisoles húmedos tropicales cuando la disponibilidad de fósforo en el suelo es menos de 10 mg P/kg. La roca fosfórica y el TSP tienen efectos similares cuando se aplican entre 1,5 y 3,0 kg por palma/año. El efecto del fósforo es aumentar el número y el peso de los racimos.

## Requerimientos de fósforo de la palma de aceite

Muchas investigaciones sobre palma de aceite han mostrado que la respuesta al nitrógeno (N) aumenta cuando el nivel de fósforo (P) es adecuado (Foster *et al.* [1989], citado por Tarmizi *et al.*, [2004]). En un ensayo reciente, con adecuados niveles de fósforo, la respuesta a nitrógeno mejoró con el aumento en absorción de nitrógeno y potasio (K), aceleró la madurez, aumentó la eficiencia del uso de nitrógeno y mejoró los rendimientos (Tabla 10).

El mayor crecimiento de la raíz con niveles adecuados de fósforo también puede mejorar la absorción de nitrógeno del suelo y de fertilizante y puede reducir la cantidad de nitrato-N residual, que puede ser propenso a pérdidas por lixiviación o escorrentía. Los niveles adecuados de fósforo aumentan los rendimientos y la rentabilidad y al mismo tiempo minimizan la potencial

**Tabla 10.** Efectos de la interacción entre N y P en RFF (t/ha) para palmas > 12 años en suelos de la serie Bungor (Tarmizi *et al.*, 2004)

AS / RF (kg)	P <sub>0</sub> =0	P <sub>1</sub> =3	AVG
N <sub>0</sub> =0	19,67	20,14	19,9
N <sub>1</sub> =3	22,69	25,81	24,25
N <sub>2</sub> =6	24,53	25,64	25,08
N <sub>3</sub> =9	25,9	26,64	26,27
AVG	23,2	24,55	

<sup>1</sup>RF = Roca fosfórica

de pérdida de nitrógeno. Estos efectos trabajan juntos para aumentar el potencial de ganancias.

Se encontraron diferencias significativas entre N<sub>1</sub> vs. N<sub>0</sub>; N<sub>3</sub> vs. N<sub>1</sub>; P<sub>1</sub> vs. P<sub>0</sub> y N<sub>2</sub>P<sub>1</sub> vs. N<sub>1</sub>P<sub>0</sub>. Altas dosis de fósforo reducen el número de racimos, lo que fue perjudicial para palmas de aceite sembradas en turba (Tarmizi *et al.* [1996] citado por Tarmizi *et al.* [2004]), pero no ha sido demostrado en suelos del interior, donde la aplicación de fósforo ha aumentado el peso promedio de los racimos y ha contribuido sustancialmente al aumento en el rendimiento de aceite. La Tabla 11 muestra que la aplicación de fósforo aumentó de manera significativa el peso de frutos y racimos. Para muchos suelos del interior, la aplicación de 3 kg/palma/año fue rentable (Tarmizi *et al.*, 2004).

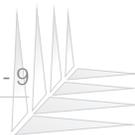
En un estudio reciente sobre aplicaciones de roca fosfórica de baja y media reactividad en palmas de aceite sembradas en turba profunda en Sarawak (Malasia) se obtuvo un aumento sustancial en el rendimiento de RFF. Los datos de rendimiento de RFF fueron acumulativos de 24-36 meses después del tratamiento. Aparentemente la roca fosfórica de baja reactividad obtuvo mejor respuesta que la roca fosfórica de reactividad media (Tabla 12).

En otro estudio, se observó lo mismo en palma de aceite sembrada en suelos minerales con pH alto en Sabah, y diferentes fuentes de fósforo fueron probadas (Tabla 13).

**Tabla 11.** Efecto del P en los componentes de racimos de palma de aceite en suelos de la serie Rengam (Tarmizi *et al.*, 2004)

Nivel P = RF1 (kg palma)	Peso fruto (g)	Peso nuez (g)	Peso racimo (kg)	Rend, aceite (kg)
P0 = 0	7,93	2,11	21,05	4,55
P1 = 3	8,16	2,11	22,36	4,82
LSD (0,05)	0,24	0,08	0,96	0,26

<sup>1</sup>RF = roca fosfórica



**Tabla 12.** Rendimiento de RFF obtenido con la aplicación de roca fosfórica de reactividad baja y media a palma de aceite sembrada en turba profunda en Sarawak.

Tratamiento palma/año	Número de racimos/ha	Número racimos palma	Promedio peso racimo (kg)	Rendimiento (t/ha)
T1: 0g RF	2022,0	13,0	10,3	20,9
T2: 500g RF reactividad baja	2076,0	13,4	10,9	22,6
T3: 1000g RF reactividad baja	2294,0	14,8	10,5	24,0
T4 : 1500g RF reactividad baja	2269,0	14,6	10,7	24,2
T5: 2000 g RF (LR)	2233,0	14,4	11,0	24,6
T6: 4000 g RF (LR)	2209,0	14,3	10,9	24,1
500 g RF reactividad media	2071,0	13,4	10,6	22,0
1000 g RF reactividad media	2124,0	13,7	10,8	23,0
2000 g RF reactividad media	2030,0	13,1	10,6	21,5
Promedio				
SE	2147,6	13,9	10,7	23,0
LSD 5%	180,4	1,2	0,5	2,6
CV%	8.4	8,4	4,3	7,6

**Tabla 13.** Efectos de diferentes fuentes de P en un suelo mineral en Sabah (Malasia)

Tratamientos	Rendimiento RFF (t/ha)	No racimos/ha	Tratamientos	Rendimiento RFF (t/ha)	No. racimos/ha
RF Isla Navidad	29,57	4387	RF Marruecos	27,31	4046
TSP	31,45	4650	RF Argelia	32,01	4325
RF China	33,25	4883	Testigo	27,87	3953
S.E. tratamiento principal	±2,08	±226	S.E. tratamiento principal	±3,02	±270
L.S.D 5%	N.S	N.S	L.S.D 5%	N.S	N.S
			Fertilizante Nil	31,15	3674



**Figura 4.** Lotes con tratamiento de RF 23 meses después del trasplante.

## Conclusión

Para suelos tropicales, el uso de roca fosfórica (RF) como fuente de fósforo es una buena opción para mejorar la fertilidad del suelo (mejora P, Ca, y pH del suelo y neutraliza Al), lo que se refleja en un mejor comportamiento de la palma de aceite y aumento del rendimiento y el contenido de aceite por hectárea.

La aplicación de RF permite mejorar las reservas de fósforo en el suelo, y sostener el crecimiento y la producción de la palma de aceite.

## Bibliografía

- Amberger, A. 2006. Soil Fertility and Plant Nutrition in the Tropics and Subtropics. IFA and IPI, France.
- Anonymous, 1999. Functions of Phosphorus in Plants. Better Crops 83, 7.
- Benton, J. 2003. Agronomic Handbook. CRC Press, New York.
- Chien, S. 1977. Dissolution rates of phosphate rocks. *Soil Science of America Journal* 41: 656-657.



- Corley, R.; Tinker, P. 2003. *The Climate and Soils of the Oil Palm-Growing Regions*. Blackwell Science, Oxford.
- Goh, K.; Chew, P. 1995. Direct Applications of Phosphate Rock to plantation tree crops Malaysia. In: Dahanayake, K., van Kauwenbergh, J., Hellums, D. (Eds.), *Direct Application of Phosphate Rock and appropriate Technology Fertilizers in Aisia - What Hinders Acceptance and Growth*. Institute of Fundamental Studies, IFDC, Kandy, pp. 121-141.
- Goh, K.; Hardter, R. 2003. General Oil Palm Nutrition. In: Fairhurst, T., Hardter, R. (Eds.), *Oil Palm Management for Large and Sustainable Yields*. Oxford Graphic Printers Pte Ltd, pp. 199 - 205.
- Harjotedjo, S.; Suyanto, S.; Utami, H.B. 1996. The effect of phosphorus fertilizer on growth and production of oil palm in Libo-Riau. In: Proc. 1996 Isopa/Iopri Seminar on Agronomic Update in Oil Palm Management, Pekanbaru, Indonesia: 63-80.
- Kanebo, I.; Gilkes, R. 1988. The effect of level of phosphate rock application on its dissolution in soil and bicarbonate-soluble phosphorus. *Fertilizer Research* 16: 67-85.
- Liew, C. 2006. Evaluation of P residue in an oil palm plantation fertilized with different sources of phosphate rocks. Universiti Putra Malaysia, Serdang, Selangor, p. 27.
- Lubis, M. 1997. Comparative efficacy of various sources and rates of phosphate rocks to oil palm seedlings. University Putra Malaysia, Kuala Lumpur, p. 152.
- Ollagnier, M. Ochs, R. 1971. Management of mineral nutrition on industrial oil palm plantations. Fertilizer savings. *Oleagineux* (Francia) 36: 409-421.
- Owen, B. 1992. Fertilizacion de la palma africana (*Elaeis guineensis*, Jacq.) en Colombia. *Palmas* (Colombia) 13: 39-62.
- Poeloengan, Z.; Sugiyono, Y.; Adiwiganda, T. 1996. The Use of Phosphatic Fertilizer in Oil Palm Cultivation. In: Johnston, A.E.S.J.K. (Ed.), *Nutrient Management for Sustainable Crop Production in Asia*. The World Phosphate Institute and CAB International, Bali, Indonesia, pp. 347-351.
- Schorrocks, V. 1964. Mineral Deficiencies in Hevea and Associated Cover Plants. Rubber Research Institute of Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia, p. 76.
- Tarmizi, A.; Tayeb, D.; Hamdan, A. 2004. Oil Palm Nutrient Requirements. In: Association, M.O.S.a.T. (Ed.), *MOSTA Best Practices Workshops: Agronomy and Crop Management Workshops*. Malaysian Oil Scientists' and Technologists; Association, Applied Agricultural Research Sdn. Bhd. @ Paloh Estate, Paloh, Johore., pp. 221-234.
- Willet, I.; Moody, P.; Blamey, F. 1996. The Essential Role of Phosphorous in Crop Production In: Johnston, A.E.S.J.K. (Ed.), *Nutrien Management for Sustainable Crop Production In Asia*. The World Phospahte Institute and CAB International Bali, Indonesia, pp. 51-74.
- Zakaria, Z.; Foong, S.; Jamaludin, N.; Lee, C.; Hamdan, A.; Tarmizi, A.; Khalid, H. 2001. Evaluation of Various Sources of Phosphate Fertilizer for Mature Oil palm in Peninsular Malaysia. In: МРОВ (Ed.), *Cutting Edges Technologies for Sustained Competitiveness*. Pipoc International Palm Oil Congress. Agriculture Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 272-281.
- Zulkifli, H.; Zaharah, A.; Sharifuddin, H. 1996. Effectiveness of Natural Phosphate Rocks for Oil Palm Seedlings Determined Using the <sup>32</sup>P Isotope Dilution Technique
- In: Johnston, A., Syers, J. (Eds.), *Nutrient Management for Sustainable Crop Production in Asia*. The World Phosphate Institute and CAB International, Bali, Indonesia, pp. 365-367.