

Características, uso y manejo de fertilizantes para palma de aceite

Characteristics, Use and Management of Fertilizers for Oil Palm

Luis A. León S.¹

Resumen

Uno de los principales éxitos en la obtención de una excelente producción de fruto en la palma de aceite estriba en el uso razonable y adecuado de los fertilizantes. Fertilizantes mal utilizados pueden causar daños irreparables a los suelos, cuyo costo de recuperación puede llegar a ser muy alto, además de causar bajas apreciables en la producción del aceite. El presente trabajo discute las principales características de los fertilizantes más usados en las plantaciones de palma de aceite, incluyendo sus propiedades físicas, como los límites de humedad crítica relativa y sus propiedades químicas, como el poder de acidificación o alcalinización, el índice de sales y la compatibilidad química de dichos fertilizantes. Además se presentan los diversos aspectos relacionados con el uso de rocas fosfóricas como fuente de fósforo en palma, tales como sus propiedades físicas y químicas con relación a su efectividad agronómica y las propiedades químicas de los suelos y el medio ambiente que ayudan a favorecer dicha efectividad. Se discuten aquí los efectos positivos y negativos que tienen sobre el suelo y sobre el cultivo la correcta y la incorrecta aplicación de fertilizantes simples o compuestos.

Summary

One of the main reasons for the success in obtaining an excellent fruit production of the oil palm consists on the reasonable and adequate use of fertilizers. The incorrect use of fertilizers may cause irreversible damage to the soil, which may result in extremely high costs, besides causing a significant reduction in oil production. In this work initially are discuss the main characteristics of the fertilizers generally use in oil palm plantations, including its physical properties, such as the relative critical moisture limitations, and its chemical properties, such as the acidification or alkalization power, the salts index and the chemical compatibility of those fertilizers. Furthermore, several aspects related to the use of phosphate rocks as phosphorus source for the oil palm, such as its physical and chemical properties related to its agronomic effectiveness, and the chemical properties of the soils and the environment which help to favor its effectiveness are presented here. It is also discuss here the positive and negative effects, on soils and crops, of the correct and incorrect applications of simple or compound fertilizers.

Palabras Clave

Palma de aceite,
Fertilizantes,
Mezclas,
Roca fosfórica.

1. Universidad del Pacífico, Colombia. E-mail: luisalfredoleon@msn.com

Nota: Este artículo se publica "sin editar", la responsabilidad de los textos es del autor.

Introducción

Se entiende por fertilizante “cualquier material orgánico o inorgánico, natural o sintético que suministra a las plantas uno o más de los elementos químicos necesarios para su normal crecimiento” (Guerrero, 2001).

En el caso de la palma de aceite, son muchos los así llamados fertilizantes que se utilizan, racional e irracionalmente, siempre con el objetivo de lograr incrementos apreciables en el rendimiento de los racimos y del aceite que de allí se extrae. En muchos casos el aumento en rendimiento, que puede ser transitorio, no se ve reflejado en el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y frecuentemente dichas propiedades se deterioran, ya sea por aumento del mal drenaje y de la compactación, por incrementos de la acidez, la salinidad, la alcalinidad y/o por contenidos de nutrientes no balanceados adecuadamente en los suelos (Sánchez y Salinas, 1981). A largo plazo, estas propiedades deterioradas se irán a reflejar en unos contenidos de nutrientes no balanceados en las plantas, una apreciable disminución de los rendimientos y peor aún, en un incremento en la susceptibilidad de las palmas a ciertas enfermedades que pueden llevarlas a su desaparición (Munévar, 2003).

Siendo el costo de la fertilización una de las inversiones que más contribuye al costo total de la producción de la palma de aceite, es necesario prestar una máxima atención a la selección de los fertilizantes que se piensan utilizar, con el fin de obtener los más altos rendimientos, sin descuidar los problemas que su uso pueda causar a largo plazo en los suelos y las plantas. Por esta razón es conveniente y necesario que los técnicos de las plantaciones de palma de aceite conozcan a profundidad todas las propiedades físicas y químicas de los fertilizantes que generalmente usan y que además puedan encontrar alternativas para realizar cambios de fuentes cuando observen que uno o varios de los productos que usan no están dando los resultados esperados o están causando daños físicos, químicos y/o biológicos al suelo o a la planta.

Términos más usados en fertilizantes

En el mundo de los fertilizantes existen un gran número de términos que se utilizan diariamente y que es necesario conocer. Los más comunes son: aprovechabilidad; contenido nutricional; grado; fertilizantes químicos, simples, compuestos, mezclados, complejos, naturales, sintéticos, granulados, cristalinos y *prilled*; portador nutricional y abonos orgánicos. Guerrero (2001) presenta unas muy buenas definiciones de todos los términos indicados arriba.

Propiedades físicas de los fertilizantes

Las propiedades físicas de los fertilizantes son de extrema importancia, no solo con relación a su efectividad agronómica sino a su facilidad de aplicación, transporte y conservación durante el almacenamiento, donde se pueden segregar, compactar y humedecer.

Uno de los procesos físicos que ha mejorado las condiciones de manejo y almacenamiento de los fertilizantes es el de la granulación, la cual disminuye la compactación y la tendencia a la segregación de las partículas, fenómenos muy comunes cuando los fertilizantes se han mezclado en polvo o en cristales finos.

La llamada granulometría comprende la determinación del tamaño de las partículas y su distribución. Esta determinación es rutinaria en los laboratorios de control de calidad de las industrias que fabrican o mezclan fertilizantes.

Pero no todos los fertilizantes o enmiendas que se usan en agricultura se comportan bien agronómicamente cuando han sido granulados. Algunos, que son de muy baja solubilidad en agua, funcionan mejor cuando están en forma de polvo fino, como las rocas fosfóricas, las escorias Thomas, el fosfato bicálcico, los fosfatos térmicos, el yeso, las cales agrícolas, las dolomitas y el azufre. Por el contrario, fertilizantes de alta solubilidad se comportan agronómicamente mejor cuando han sido granulados y el tamaño del gránulo es inversamente proporcional a la tasa de disolución del mismo. Esta propiedad es importante especialmente cuando se usan fosfatos solubles en suelos que son altamente

fijadores de fósforo. Trabajos realizados por Fassbender (1968), Suárez (1971), Engelstad y Russel (1975), Engelstad y Terman (1980) y Arias y Cantillo (1983), con fosfatos solubles e insolubles en agua y con diferentes tamaños de gránulo, demostraron que agrónomicamente se comportan en forma similar los granulados hidrosolubles (1-2 a 5 mm de diámetro) y los polvos finamente molidos de los fosfatos insolubles en agua.

Con fertilizantes nitrogenados como la urea, Nommik (1974) comprobó que la pérdida de N por volatilización fue más rápida cuando se utilizó un gránulo de tamaño pequeño (*prilled*) que cuando se emplearon gránulos de mayor tamaño (de 2,0 a 2,2 g/gránulo).

Otro punto importante relacionado con el comportamiento normal de los fertilizantes durante el manipuleo de los mismos es la consistencia del gránulo, para que estos no se rompan y formen polvo. En este caso son deseables tres tipos de consistencia mecánica: Resistencia al rompimiento, a la abrasión y al impacto. Si dichas resistencias son aceptables, se evitarán muchos problemas de rompimiento, aterronamiento o compactación producidos durante los largos trayectos realizados bajo condiciones adversas.

Si se tiene que calcular el tamaño de los empaques de un fertilizante, su capacidad de almacenamiento en bodegas o vehículos de transporte y calibrar los dosificadores volumétricos de abono, es necesario conocer la densidad aparente de dichos productos. En la Tabla 1 se presentan los rangos de densidad aparente de varios fertilizantes.

Adicionalmente, densidades aparentes de algunos productos granulados pueden verse en

Tabla 1 Densidad aparente de algunos fertilizantes y enmiendas no granulados. Datos tomados del IFDC (1979)

Fertilizantes y enmiendas	Densidad aparente, kg/m ³
Rocas fosfóricas (RF)	1.360 - 1.520
Superfosfato simple (SFS)	960 - 1.120
Superfosfato triple (SFT)	880 - 1.040
Cal agrícola	1.280 - 1.520
Sulfato de amonio (SAM)	1.020
Cloruro de potasio	1.140 - 1.200

una publicación de Guerrero (2001) con base en información suministrada por el IFDC (1979).

Un parámetro considerado como muy importante es la humedad relativa crítica de un fertilizante, pues es la humedad de la atmósfera por encima de la cual el producto absorbe espontáneamente humedad. En la Tabla 2 se presentan datos sobre la humedad relativa crítica de ocho fertilizantes, medida a 20°C.

Tabla 2 Humedad relativa crítica de ocho de los fertilizantes más comúnmente usados. IFDC (1979)

Fertilizantes granulados	Humedad relativa crítica a 20°C, %
Nitrato de amonio <i>prill</i>	63
Urea <i>prill</i>	81
Sulfato de amonio (cristales gruesos)	81
Superfosfato triple	94
Fosfato diamónico (DAP)	82
Fosfato monoamónico (MAP)	91
Cloruro de potasio	84
Sulfato de potasio	96

Hay fertilizantes, como el nitrato de amonio, con una humedad relativa crítica tan baja que es muy difícil que permanezcan “secos” en un medio ambiente “normal”, sin que haya que recubrirlos adecuadamente o empacarlos en bolsas herméticas. Otros, como la urea, es aconsejable producirlos en forma de gránulos gruesos para así evitar que absorban humedad, como pasa con la urea *prill*. Así es posible utilizar la urea en mezclas con otros fertilizantes sin que se deteriore. En muchos casos la mezcla de dos fertilizantes puede bajar tanto su humedad relativa crítica que hace imposible su uso.

Con los fertilizantes químicos convencionales se presentan principalmente dos problemas físicos que influyen en su eficiencia agronómica y en su facilidad de aplicación en el campo. Estos son la segregación y la compactación.

Cuando se tiene un fertilizante o una mezcla de fertilizantes con partículas que no son físicamente idénticas, principalmente en cuanto a su tamaño, éstas tienden a segregarse por tamaños durante la fabricación, el manipuleo y/o el transporte de los mismos, dejando un producto final que no resulta homogéneo para una correcta

aplicación. Por el contrario, cuando se hacen mezclas a granel con compuestos granulados y del mismo tamaño, éstas no tienden a segregarse y se pueden manejar a granel o en bolsas sin ningún problema. Generalmente en mezclas a granel se usan los fosfatos monoamónico y diamónico, el superfosfato triple, el cloruro de potasio, el nitrato de amonio recubierto, la urea granulada y el sulfato de amonio (Guerrero, 2001). Cuando es necesario adicionar micronutrientes, calcio, magnesio o azufre a la fórmula, éstos se pueden adherir a los granulados en forma de recubrimiento o adicionarlos a los fertilizantes antes de granularlos, durante el proceso de fabricación.

La compactación es uno de los problemas más frecuentes en la industria de los fertilizantes químicos, donde se desarrollan enlaces cristalinos entre las partículas durante el período de almacenamiento, como resultado de reacciones químicas internas y por efectos térmicos producidos por precipitación de cristales a partir de soluciones salinas de los materiales que forman los fertilizantes. Los factores que contribuyen a la compactación son: 1. El tamaño de la partícula; 2. La consistencia de los gránulos; 3. El contenido de humedad del material; 4. La temperatura de almacenamiento; 5. La humedad relativa crítica de los ingredientes de la mezcla o aquella resultante de la misma (Guerrero, 2001). De acuerdo con Polo (1980), para disminuir el riesgo de compactación no se deben mezclar productos incompatibles, debe haber un secamiento adecuado durante la producción, se debe evitar la presencia de finos mediante un tamizado apropiado, se debe almacenar correctamente para que no haya alta compresión cuando los sacos se arruman, y se deben utilizar acondicionadores que eviten los procesos que llevan a la compactación.

Propiedades químicas de los fertilizantes

Las propiedades químicas más importantes de los fertilizantes y que tienen estrecha relación con la efectividad agronómica de ellos y sus efectos sobre las propiedades de los suelos son la solubilidad, el índice de salinidad, la acidez o basicidad residual y el PH de la solución concentrada.

La solubilidad de los fertilizantes es una propiedad que está estrechamente relacionada con su efectividad agronómica y con las reacciones a corto plazo que éstos presentan con los componentes del suelo, produciendo efectos inmediatos, de persistencia y residuales. La solubilidad se mide en gramos del fertilizante en 100 gramos de agua, pero hay varios factores que inciden en la intensidad con que ocurre la disolución cuando el fertilizante se pone en contacto con el suelo tales como el agua disponible del suelo, las características del suelo, su temperatura, el tamaño y el tipo de las partículas y los métodos de aplicación del abono. Los fertilizantes nitrogenados más usados en palma de aceite son relativamente muy solubles en agua. Por ejemplo, el nitrato de amonio disuelve 187 g, la urea 108 g y el sulfato de amonio 80 g por cada 100g de agua.

Esta alta solubilidad que presentan muchos fertilizantes puede representar también un alto nivel de pérdidas ligadas a la ocurrencia de uno o varios procesos de naturaleza fisicoquímica, química o bioquímica tales como: fijación; lixiviación; inmovilización; volatilización; denitrificación; acomplejamiento; escorrentía; erosión (Munévar, 1983).

Un ejemplo clásico de estas pérdidas se presenta cuando se hacen aplicaciones de urea. Cuando la urea se descompone produciendo el ión NH_4^+ , éste puede ser fijado por las arcillas del tipo 2:1. Si el suelo se encuentra bajo condiciones aeróbicas el N está en forma de NO_3^- y éste puede ser fácilmente lixiviado y perderse del sistema. Cuando el N mineral, por acción de los microorganismos del suelo, pasa a N orgánico, éste puede quedar inmovilizado temporalmente. Cuando la urea se aplica en la superficie del suelo ésta se hidroliza transformándose en NH_3 y CO_2 , donde el amonio se volatiliza. El paso de amonio a nitratos y la reducción de éstos pueden desprender gases como el N_2O y el N_2 , produciéndose el fenómeno de la denitrificación. El N también puede acomplejarse con otros componentes del suelo formando compuestos que con el tiempo pueden llegar a ser cristalinos. Finalmente, las diferentes formas del N en el suelo se pueden perder ya sea por escorrentía o por erosión (Munévar, 1983).

Si el fertilizante presenta una alta tasa de disolución, es posible que también las pérdidas de nutrientes sean altas, resultando en una muy poca persistencia del efecto fertilizante durante el ciclo del cultivo. No hay que confundir dicha persistencia con el efecto residual que produce un fertilizante cuando su efecto se prolonga al cultivo o cultivos subsiguientes al que se realizó la aplicación, aunque la solubilidad del producto y su tasa de disolución influyen positiva o negativamente en dicho efecto. El efecto residual se discutirá más adelante cuando se trate sobre el uso de fertilizantes fosfatados, especialmente el de las rocas fosfóricas nativas y modificadas.

Cuando el gránulo de un fertilizante cae en la superficie del suelo húmedo o es incorporado al mismo, éste reacciona con el agua formando una solución saturada cuyo pH puede ser muy alto o muy bajo dependiendo del producto usado.

El pH de la solución saturada de un gránulo de urea es de 9,0, pues este abono reacciona con el agua del suelo produciendo amoníaco (Vlek y Craswell, 1981), el cual se puede perder por volatilización o causar fitotoxicidad que afecta la germinación o la emergencia de las plántulas, especialmente cuando el fertilizante se ha localizado muy cerca de las semillas (Vlek y Craswell, 1979, 1981).

Otros productos nitrogenados no presentan pH de la solución saturada (SS) tan extremo y es así como la SS del sulfato de amonio tiene un pH de 4,0, del MAP 3,5, del DAP 8,0 y del nitrato de potasio 7,5. En muchos casos, dependiendo de las propiedades químicas del suelo, del cultivo a establecer y de las prácticas agronómicas, se puede escoger el fertilizante que más convenga de acuerdo con su pH de la SS.

Los fertilizantes fosfóricos presentan gran variación del pH de la SS. El superfosfato triple desarrolla un pH de 1,0, en tanto que el MAP y el DAP varían de 3,5 a 8,0, respectivamente. Las rocas fosfóricas, dependiendo de su composición, pueden desarrollar un pH de la SS cercano a 6,5. Lo mismo que para el caso de los nitrogenados, se debe escoger el fertilizante fosfatado más apropiado dependiendo de si el suelo es ácido, calcáreo o con altos contenidos de Ca intercambiable (Sullivan, 1978; Sample *et al.*, 1980; Engelstad y Terman, 1980; Amézquita, 1981; Arias y Cantillo, 1983).

Ciertos fertilizantes, cuando se aplican en forma continua y prolongada a un suelo, ya sea para cultivos semestrales o permanentes, tienden a cambiar el pH del mismo haciéndolo más ácido o más alcalino. Esta propiedad se le llama acidez o basicidad residual, potencial o equivalente. El llamado índice de acidez residual se expresa en términos del peso de carbonato de calcio requerido para neutralizar la acidez causada por la aplicación de 100 kg de dicho fertilizante (-). El índice de basicidad residual se expresa en términos del peso de carbonato de calcio requerido para generar un nivel de alcalinidad igual al dejado por la aplicación de 100 kg de fertilizante (+).

Por otro lado, una alta concentración de sales solubles en la solución del suelo puede causar daño a las plantas o impedir que las semillas germinen y/o se restrinja la emergencia de las plántulas. Este efecto detrimento de algunos fertilizantes se conoce como índice de salinidad, el cual, siendo una cifra relativa, es la comparación entre el aumento de la presión osmótica de la solución del suelo a la aplicación de un peso igual de nitrato de sodio.

Algunos equivalentes de acidez o basicidad residual e índices de salinidad se presentan en la Tabla 3.

La información presentada en la Tabla 3 es de gran utilidad cuando se trata de decidir qué fertilizante se piensa usar en una plantación y los riesgos que se van a correr con el uso prolongado del mismo. Si se trata de un fertilizante con un alto grado de acidez residual, como es el caso de la urea y las sales de amonio, será conveniente estar chequeando periódicamente el pH del suelo para, si es el caso, tomar las medidas agronómicas indispensables para contrarrestar este efecto, alternando la fuente o aplicando alguna enmienda que neutralice dicha acidez. Por el contrario, si se trata de suelos alcalinos con pH muy elevado, el uso de fertilizantes que produzcan acidez, como el sulfato de amonio, puede resultar benéfico para el suelo y el cultivo.

Prácticamente todos los fertilizantes presentados en la Tabla 3 teóricamente producen salinidad, pero algunos como el cloruro de potasio, el nitrato de amonio, la urea y el sulfato de amonio, si no se tiene cuidado en el momento y la forma de su

Tabla 3 Equivalentes de acidez o basicidad residual e índices de salinidad de algunos fertilizantes comerciales. Tomado de IFDC (1979)

Fertilizante	Equivalente de acidez (-) o basicidad (+) kg de Ca CO ₃ /100 kg de fertilizante	Índice de salinidad NaNO ₃ = 100
Urea	-84	75,4
Nitrato de amonio	-63	104,7
Sulfato de amonio	-112	69,0
MAP	-65	29,9
DAP	-64	34,2
Superfosfato triple	0	10,1
Roca fosfórica	+56	-
Cloruro de potasio	0	116,3
Sulfato de potasio	0	46,1
Sulpomag	0	43,2
Nitrato de potasio	0	40,2
Sulfato de calcio	0	8,1
Cales calcíticas	+80 a + 95	4,7
Cales dolomíticas	+90 a +100	0,8
Azufre elemental	-312	-

aplicación, pueden causar problemas de germinación y/o emergencia de las plántulas o incrementar la salinidad del suelo hasta niveles poco aceptables para la mayoría de los cultivos. La acumulación de algunos iones solubles en los horizontes superiores del suelo (K, Na, Mg) pueden causar un desbalance nutricional perjudicial para plantas como la palma de aceite.

Compatibilidad química en las mezclas de fertilizantes

Muchos fertilizantes se pueden mezclar al momento de su elaboración y otros antes de aplicarlos sin que se presente ningún problema de tipo físico, químico, de humedecimiento o apelmazamiento, pero no con todos se pueden realizar estas prácticas. La más común es la incompatibilidad química que se puede generar por las siguientes causas: 1. Desarrollo de calor en la mezcla; 2. Desarrollo de humedad; 3. Producción de gases; 4. Compactación y 5. Aumento de higroscopicidad en la mezcla. El ICA (1992) elaboró una tabla de compatibilidad química de algunos fertilizantes que se puede consultar en un reciente artículo de Guerrero (2001). En dicha tabla se presentan los fertilizantes que se pueden mezclar sin ningún problema, los que se pueden mezclar por corto

tiempo antes de usarse y los que no se pueden mezclar en ningún momento. Es aconsejable consultar esta tabla antes de proceder a hacer mezclas de fertilizantes.

Ventajas y desventajas del uso de fertilizantes complejos

En muchas plantaciones de palma de aceite acostumbran utilizar para toda la plantación un fertilizante complejo, con una sola fórmula predeterminada, cambiando solamente la cantidad a aplicar por palma de acuerdo con la edad y el estado general de las plantas. Esta práctica puede traer varias ventajas pero también puede acarrear muchos problemas.

Las ventajas pueden ser: 1. Se usa una sola fórmula para toda la plantación; 2. Resulta económico el manejo del fertilizante y su aplicación en el campo; 3. No es necesario hacer mezclas ni aplicar diferentes fertilizantes en distintas épocas del año; 4. Se cuenta siempre con un producto granulado cuya composición es constante; 5. No se deteriora con el tiempo ni sufre segregación o compactación.

Las desventajas son: 1. Si en la plantación los suelos no son uniformes, una sola fórmula no será lo más aconsejable; 2. Habrá poca respuesta

de la palma a los fertilizantes complejos debido a excesos o deficiencias de uno o varios nutrientes (desbalance de nutrientes en la planta); 3. Una aplicación constante de una sola fórmula de fertilizante puede causar desbalances, deficiencias o toxicidades en los suelos y las plantas (Relaciones N, K, B, Ca, Mg, P, Zn). 4; No se podrán hacer aplicaciones individuales de nutrientes a distintas épocas del año cuando así lo aconseja la teoría y la experiencia (por ejemplo, no aplicar juntos el K y el Mg); 5. No se podrán manejar distintos fertilizantes usando diferentes métodos y sitios de aplicación.

Uso de rocas fosfóricas como fuente de fósforo para palma de aceite

Las palmas de aceite son muy eficientes en la utilización del P del suelo, debido en parte a las asociaciones efectivas que ésta tienen con la micorriza. Por esta razón, en suelos pobres en P disponible, su aplicación beneficia más a las leguminosas que se usan como cobertura. También es necesario recordar que si se hacen altas aplicaciones de fosfatos solubles, como el superfosfato triple (SFT) o el fosfato diamónico (DAP), en suelos francos o arenosos, se pueden inducir en las palmas deficiencias de cobre y de zinc.

A pesar de esto, para palmas hasta de tres años, se aconseja usar fuentes de P solubles como el SFT, el DAP o las fórmulas NPK. Cuando el suelo es muy deficiente en P, se deberá aplicar antes del establecimiento del cultivo y en forma uniforme una roca fosfórica nativa finamente molida (RFFM), preferiblemente de alta reactividad. Para palmas adultas se debe continuar suministrando el P en forma de RFFM de alta reactividad.

Uso de fosfatos naturales sin acidular y finamente molidos

El uso de RFFM en palma de aceite es una buena alternativa para realizar la fertilización fosfórica. Es posible que su efecto inicial sea lento, pero esto depende en parte de la efectividad agronómica de la RFFM que se use. De todas maneras su efecto residual a muy largo plazo es bueno y éste resulta mejor que cuando se usan fosfatos solubles como el SFT, debido a que con las RFFM se forman en el suelo productos poco cristalinos (Chien *et al.*, 1987).

Factores importantes para determinar la efectividad agronómica y económica de las RFFM

Para escoger una RFFM que se pueda utilizar en una plantación de palma de aceite, es necesario tener en cuenta: 1. La reactividad química de la roca (composición química del apatito); 2. Las propiedades físicas de la roca, como el tamaño de las partículas (finamente molida >de 100 mallas); 3. Las propiedades del suelo y del clima; 4. El tiempo y el método de aplicación; 5. El cultivo y el sistema de producción; 6. El efecto residual a corto y largo plazo; 7. El efecto de la RFFM como enmienda (RFFM vs. cal agrícola, dolomita o yeso).

Reactividad química de las rocas fosfóricas

La efectividad de cada fuente potencial de roca fosfórica para aplicación directa se debe determinar mediante la reactividad química de la misma. Se ha demostrado que la reactividad depende del grado de sustitución de fosfatos por carbonatos en la estructura del apatito (Lehr y McClellan, 1972) y que hay muchas determinaciones de solubilidad disponibles para estimar dicha reactividad (Chien y Hammond, 1978). Estas incluyen extracciones con citrato de amonio neutro, ácido cítrico al 2%, ácido fórmico al 2% y citrato de amonio ácido a pH 3. Basados en estas medidas ha sido posible categorizar las rocas fosfóricas en rangos relativos de alto, medio y bajo potencial para aplicación directa. Basados en la evaluación agronómica de rocas fosfóricas provenientes de 18 depósitos diferentes del mundo, se pudo generalizar que las rocas con un P soluble en citratos mayor al 17% del P total se clasifican como con alto potencial para aplicación directa (Carolina del Norte, Gafsa de Túnez y Bayovar del Perú). Aquellas con un 12 al 17% del P soluble en citratos del P total se consideran como de medio potencial (Maranhao de Brasil, Huila y Pesca de Colombia), mientras que las de menos del 12% se espera que funcionen pobremente cuando se comparan con la posible respuesta inicial de un cultivo cuando se han aplicado fosfatos solubles convencionales como el SFT o el DAP (Lobatera de Venezuela, Sardinata de Colombia y Patos de Minas de Brasil).

Estudios recientes de valor residual de rocas fosfóricas (Chien *et al.*, 1987) muestran que aún

las RFFM de baja reactividad con el tiempo han reducido sus diferencias con otras rocas consideradas como de alta reactividad.

Tamaño de las partículas

Numerosos trabajos científicos han demostrado que los fosfatos insolubles en agua se comportan mejor agrónomicamente mientras más pequeñas sean sus partículas (León y Arregocés, 1987). En otras palabras, las rocas fosfóricas en polvo fino son las ideales para obtener una buena respuesta de los cultivos. Investigaciones realizadas por el IFDC han mostrado que se puede eliminar el problema de la “polvosidad” de las rocas sin perder efectividad cuando se “minigranulan” a un rango de tamaño de 50- a 150- mallas Tyler. Estos minigránulos han mostrado consistentemente comportarse con una efectividad similar a la de las rocas fosfóricas en polvo. En contraste, la granulación convencional (gránulos 6- a 16-mallas Tyler) reduce substancialmente la efectividad de las rocas (Parish *et al.*, 1980).

Propiedades de los suelos que favorecen la efectividad de las rocas fosfóricas

Investigaciones realizadas por Chien, León y Tejeda (1980) confirmaron lo encontrado por numerosos investigadores que indican que hay varias propiedades de los suelos que favorecen la efectividad de las rocas fosfóricas. Dichas propiedades son: 1. Los suelos deben ser ácidos, con pH menor a 5,5. En suelos cuyo pH es mayor a 5,5 las rocas fosfóricas prácticamente no suministran P aprovechable para los cultivos. 2. Los suelos deben ser bajos en Ca intercambiable (baja saturación de Ca) y relativamente altos en Al intercambiable (alta saturación de Al). 3. Los suelos deben ser bajos en P disponible pero también tener un bajo poder de retención de fosfatos (poco fijadores de fosfatos).

Técnicas para mejorar la efectividad agronómica de las rocas fosfóricas

Se han probado numerosos tratamientos para mejorar la efectividad de aquellas rocas que no se pueden usar ampliamente debido a su pobre comportamiento agronómico. Los más conocidos son:

1. Hacer mezclas granuladas o compactadas con sustancias que al disolverse lleguen a generar

acidez. Mezclas de RF con urea, RF con S y RF con materia orgánica han sido ensayadas con éxito en varios países.

2. Hacer mezclas granuladas o compactadas con fosfatos solubles. Se han probado este tipo de mezclas y las de RF con SFT y con DAP dieron muy buenos resultados comparables con el uso de fosfatos 100% solubles.

3. Hacer acidulaciones parciales de RF con ácido fosfórico o sulfúrico, procurando acidular en un 10 a 20% y en un 40 a 50% el P de la RF, respectivamente. De esta manera en la roca fosfórica parcialmente acidulada (RFPA) habrá parte del P soluble en agua y parte soluble en citratos. Trabajos realizados por el Proyecto Fósforo del IFDC (León y Arregocés, 1987) muestran como estas RFPA pueden llegar a producir rendimientos similares a los obtenidos con los fosfatos solubles y a presentar mejores efectos residuales.

Un ejemplo de estos resultados se muestra en la Tabla 4.

Efecto inicial y residual de la roca fosfórica Huila (FRH), roca fosfórica Huila parcialmente acidulada (RFHPA) y roca fosfórica Huila granulada con superfosfato triple (RFH+SFT), aplicadas a tres siembras consecutivas de frijol en un Andisol de Morales, Cauca, Colombia. Rendimiento en kg/ha (suma de tres cosechas)

Tabla 4

Fuente de P	201 kg P/ha*	67 kg P/ha**
SFT	5.286	4.072
RFH	1.153	1.062
RFPA	5.217	3.650
RFH+SFT	5.559	3.535
Testigo	456	456

* Cantidad total aplicada a tres cosechas de frijol (67 kg/ha en cada siembra).

** Una sola aplicación a la primera siembra.

Reacciones a largo plazo de las rocas fosfóricas

Un experimento a largo plazo (5 años) realizado por Chien, Hammond y León (1987), en un Oxisol de los Llanos Orientales de Colombia, usando RFFM de Huila, Pesca, Gafsa, Tennessee, Central Florida y Bayovar, mostró que:

1. La rata de descomposición de las RFFM en un Oxisol tropical fue más rápida que lo que

generalmente se cree que es en suelos temperados.

2. Los productos de reacción, en lugar de las RFFM sin reaccionar, suministraron el P disponible residual para las plantas (P-Al y P-Fe).

3. Los productos de reacción provenientes de las RFFM son menos cristalinos que aquellos que vienen del superfosfato triple (SFT), a pesar de que los productos de reacción están en las mismas formas, generalmente Al-P y Fe-P.

4. El efecto residual del P que provino de las RFFM resultó ser más efectivo que aquel que se produjo a partir del SFT.

Estos resultados nos indican que posiblemente el uso de RFFM, para el cultivo de la palma de aceite, es una buena alternativa debido a su efecto relativamente rápido y a su buen efecto residual a largo plazo en suelos ácidos donde predominan los Oxisoles.

Conclusiones

De la revisión del presente trabajo se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Es importante y necesario conocer las propiedades físicas, químicas y bioquímicas de los fertilizantes que se piensan utilizar en una plantación de palma de aceite, con el fin de escoger los más apropiados para las condiciones de suelo y clima que caracterizan la región.
- El conocimiento de las reacciones que los fertilizantes presentan en los suelos es de mucha importancia, pues esto nos permite no sólo escoger el abono más apropiado sino también cuál es la mejor época y el método de aplicación. Este conocimiento también nos indicará hasta qué punto se puede usar continuamente un mismo fertilizante sin causar problemas en el suelo que afecten la nutrición normal de la planta.
- Las propiedades físicas y químicas de los fertilizantes ayudan a planear su manejo físico fuera y dentro de la plantación, especialmente en cuanto a transporte, almacenamiento y métodos de aplicación en el campo.
- Cuando se hacen mezclas de dos o más fertilizantes simples o compuestos para aplicar

en el campo es necesario tener un perfecto conocimiento de qué tipo de mezclas se pueden hacer a largo y corto plazo sin que éstas se deterioren y causen problemas durante y después de su aplicación.

- Antes de tomar una decisión sobre el uso de una fórmula compleja para fertilizar toda la plantación, es bueno estudiar todos los pros y los contras que acarreará dicha práctica.
- Aparentemente para suplir el P en una plantación de palma es aconsejable optar por el uso de una roca fosfórica, preferiblemente de alta reactividad, teniendo en cuenta que no todas las rocas son de una buena calidad. En este caso es aconsejable escoger la roca con la más alta solubilidad en citratos y teniendo en cuenta que éstas funcionan mejor en suelos ácidos, bajos en Ca, pobres en P disponible y bajos en su capacidad de fijación de P.
- Otra alternativa para la fertilización con P, cuando no se encuentran rocas reactivas, es el uso de rocas fosfóricas parcialmente aciduladas, que presentan una respuesta inmediata y un muy buen efecto residual. ☼

Bibliografía

- AMÉZQUITA, J. 1981. Persistencia del efecto fertilizante del fósforo proveniente de fuentes de distinta solubilidad en un suelo de páramo. Tesis de grado de Químico. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional, Bogotá, 99p.
- ARIAS, B.A.; CANTILLO, S.J. 1983. Efecto del tamaño del gránulo sobre la eficiencia y la persistencia del efecto fertilizante de fuentes hidrosolubles. Tesis de grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional, Bogotá, 86p.
- CHIEN, S.H.; HAMMOND, L.L. 1978. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rock for direct application. *Soil Science Society of America Journal*, 42, p.935-939.
- CHIEN, S.H.; HAMMOND, L.L.; LEÓN, L.A. 1987. Long-term reactions of phosphate rocks with an Oxisol in Colombia. *Soil Science*, v.144, no.4.
- ENGELSTAD, O.P.; RUSSEL, D.A. 1975. Fertilizers for use under tropical conditions. *Advances in Agronomy* 27, p.175-208.

- ENGELSTAD, O.P.; TERMAN, G.L. 1980. Agronomic effectiveness of phosphate fertilizers. In: Dinauer, R.C., Ed. *The Role of Phosphorus in Agriculture*. Madison, Wis. American Society of Agronomy, p.311-332.
- FASSBENDER, H.W. 1968. Efectividad de fertilizantes fosfóricos en suelos de diferente capacidad de fijación de fosfatos. *Fitotecnia Latinoamericana* 9 (2):230-241.
- GUERRERO, R.R. 2001. Propiedades generales de los fertilizantes químicos. En: Silva, F. Ed. *Fertilidad de Suelos Diagnóstico y Control*. Segunda Edición, p.221-245.
- INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER. 1979. *Fertilizer Manual*. Muscle Shoals, Alabama. IFDC, 353p.
- LEHR, L.L.; McCLELLAN, G.H. 1972. A revised laboratory reactivity scale for evaluating phosphate rocks for direct application, Bulletin Y-43, Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama 35660, USA.
- LEÓN, L.A.; ARREGOCES, O. (Eds.) 1987. Alternativas sobre el uso como fertilizantes de fosfatos nativos en América Tropical y Subtropical. Memorias del Seminario celebrado en el CIAT, Colombia, del 4 al 6 de noviembre, 1987. CIID, IFDC, CIAT. Documento de trabajo no.46, CIAT, A.A. 6713, Cali, Colombia.
- MUNÉVAR, F. 1983. Principales procesos microbiológicos en el suelo y su función en la productividad agropecuaria. En: *Suelos Ecuatoriales*, v.XIII, no.2. Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- MUNÉVAR, F. 2003. Relación entre la nutrición y las enfermedades de las plantas. Trabajo sin publicar. Presentado durante la XIV Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite, septiembre 23 al 26 de 2003. Cartagena de Indias, Colombia.
- NOMMIK, A.H. 1974. Effect of granulated urea on ammonia volatilization. *Indian Journal of Soil Science* 10 (2), p.240-245.
- PARISH, D.H.; HAMMOND, L.L.; CRASWELL, E.T. 1980. Research on modified fertilizer materials for use in developing-country agriculture. IFDC Paper Series P-2 December 1980, 1M. International Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, Alabama USA, 35660.
- POLO, Z. 1980. Propiedades físicas y químicas de los fertilizantes. En *Curso sobre Investigación en la Eficiencia de fertilizantes en los trópicos*. Cali, Colombia. CIAT/IFDC, 7 p.
- SAMPLE, E.D.; SOPER, R.J.; RACZ, G.J. 1980. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In: Dinauer, R.C., ed. *The role of phosphorus in agriculture*. Madison, Wis. American Society of Agronomy, p.263-310.
- SÁNCHEZ, P.A.; SALINAS, J.G. 1981. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. *Advances in Agronomy* 35, p.279-406.
- SUÁREZ, F.D. 1971. Efecto del tamaño de gránulo sobre la eficiencia del superfosfato concentrado en tres suelos fijadores de fósforo. Tesis de grado de M.Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA/OEA-CTEI, 89 p.
- SULLIVAN, L.Z. 1978. Mono-ammonium phosphate (MAP) versus other sources. Tulsa, Agrico Chemical Company, 4 p.
- VLEK, P.L.; CRASWELL, E.T. 1979. Effect of nitrogen source and management on ammonia volatilization losses from rice-soil systems. *Soil Science Society America Journal*, 43 (2), p.352-358.
- VLEK, P.L.; CRASWELL, E.T. 1981. Ammonia volatilization from flooded soils. *Fertilizer Research* 2, p.227-245.