

DINAMICA SUELO-CULTIVO DEL FOSFORO Y MANEJO DE LOS FERTILIZANTES FOSFATADOS (Parte II)*

CONDUCTA DE LOS FERTILIZANTES FOSFATADOS EN EL SUELO

Los cambios iniciales del fertilizante fosfatado aplicado al suelo están gobernados por las propiedades particulares de cada fertilizante. Luego la química del suelo controla los cambios y determina finalmente el destino del P aplicado al suelo (Figura 1).



Figura 1. Dinámica de los fertilizantes fosfatados en el suelo.

Debido a que los fertilizantes fosfatados comunes son sales solubles, el agua y el vapor de agua migran dentro del gránulo hasta que éste se satura formando una solución con una composición que está determinada por la forma química del fertilizante. Esta solución se mueve fuera del gránulo hacia el suelo. En el caso del fosfato monocalcico (0-46-0) se forma una solución de ácido fosfórico 4 molar de pH 1.5 que deja un residuo de fosfato de calcio dihidratado (FCDH). El fosfato monoamónico (MAP) y el fosfato diamónico (DAP) producen soluciones de fosfato de amonio de pH 3.5 y 8.0 respectivamente (Lindsay et al., 1962).

La solución que se mueve hacia afuera del gránulo reacciona con los constituyentes del suelo y forma compuestos menos solubles cuya formación está influenciada tanto por las propiedades del fertilizante como por las propiedades del suelo. Todos los fertilizantes comunes parecen formar fosfato de calcio dihidratado el mismo que con el tiempo se disuelve y forma fosfatos menos solubles.

En el caso de suelos ácidos dominados por arcillas de carga permanente (montmorillonita, vermiculita, illita, etc) el siguiente paso es la formación de fosfatos de hierro y aluminio. En estos suelos la reducción en pH (incremento en acidez) permite el rompimiento de la estructura de los minerales arcillosos y en consecuencia se liberan

*

Artículo escrito por el Dr. Paul Fixen, Northcentral, Director, Potash and Phosphate Institute (PPI).

Al y Fe que reaccionan con el fosfato formando compuestos bastante insolubles. Las superficies de las arcillas de estos suelos no son reactivas y retienen modestas cantidades de P haciendo que las reacciones con Fe y Al sean las que inmovilizan P.

Por otro lado, los suelos tropicales dominados por minerales arcillosos de carga variable (caolinita, óxidos de Fe y Al, alofana, imogolita, etc.) son estables hasta pH's bajos y solamente cuando el pH del suelo llega a valores menores que 5 el Fe y el Al se liberan a la solución del suelo y pueden reaccionar con el fosfato. En este caso la inmovilización de P está relacionada con la alta reactividad o afinidad por P de las superficies de las arcillas presentes en el suelo. Este proceso retiene apreciables cantidades de P en un rango amplio de pH.

En el caso de suelos ligeramente ácidos y alcalinos se forman fosfatos de calcio menos solubles.

Con el tiempo varias de estas formas finales de fosfato pueden también disolverse y pasar a la solución del suelo de donde pueden ser absorbidas por las plantas o entrar en reacciones iguales a las descritas anteriormente.

Durante este proceso de disoluciones secuenciales, precipitaciones y reacciones de adsorción en las superficies de los coloides del suelo, la concentración de P declina hasta formar soluciones de concentraciones de 10^{-5} a 10^{-6} molar que son típicas de las solución del suelo (alrededor de 0.2 ppm de P). Las fuerzas termodinámicas empujan a que las soluciones de P en el suelo lleguen a su menor nivel de energía que la cinética permita (la forma menos soluble).

Generalmente, cuando menos soluble es el mineral más lentamente ocurren las reacciones. De esta forma las primeras reacciones pueden llevarse a cabo en solamente unas pocas horas o días mientras que las últimas reacciones se pueden completar en varios años. Las aplicaciones de fertilizante en banda reducen la velocidad de estas reacciones (Inskeep y Silvertooth, 1988; Grossl y Inskeep, 1991). Las labores de labranza o la remoción del suelo, especialmente en suelos que son inicialmente muy bajos en P soluble, aceleran estas reacciones.

La más alta disponibilidad del fertilizante fosfatado se presenta inmediatamente después de la

disolución de los granos y la disponibilidad declina a medida que la solubilidad de los compuestos también declina. En la mayoría de los suelos de clima templados, la mayoría del P aplicado permanece en forma que las plantas pueden eventualmente utilizarlas, pero debido a la inmovilidad de los compuestos de P formados, la recuperación de este P puede tomar varios años. En suelos tropicales las reacciones de superficie ligan fuertemente el fosfato y una gran cantidad se pierde casi irreversiblemente.

CARACTERISTICAS OPTIMAS DE LOS FERTILIZANTES FOSFATADOS

Las principales características que se consideran cuando se evalúa la eficacia de los fertilizantes fosfatados son: tamaño de la partícula, solubilidad, forma química y forma física. Otras propiedades no agronómicas como la densidad aparente y la humedad relativa crítica son también importantes propiedades que no se discuten en este artículo.

TAMAÑO DE PARTICULA

Los fertilizantes fosfatados generalmente tienen un diámetro que varía de 3.36 a 0.841 mm o -6 a +20 mesh (Young et al., 1985). El tamaño del gránulo puede influenciar significativamente la efectividad relativa en el corto plazo de los fertilizantes fosfatados. Este efecto varía de acuerdo a varios factores que influyen la solubilidad en agua y la localización del fertilizante en el suelo (Engelstad y Terman, 1980).

Los fertilizantes ligeramente solubles o insolubles en agua como la roca fosfatada son más disponibles cuando se aplican como partículas muy finas de alta área específica superficial y son incorporados completamente en el suelo. Esto produce un incremento del contacto del fertilizante con el suelo que facilita la disolución mientras que el elevado número de partículas incrementa la probabilidad de intersección por las raíces.

La efectividad de los fertilizantes fosfatados de alta solubilidad en agua es generalmente mayor con partículas más grandes. La disponibilidad de los fertilizantes solubles en el agua se reduce por las reacciones de fijación con el suelo. Los gránulos más grandes permiten zonas más amplias de difusión con alta concentración de P lo cual retarda la fijación. Sin embargo una aplicación normal en el campo afecta solamente el 2% del suelo en la zona radicular (Engelstad y Terman, 1980). Si lo

que se busca es que las raíces exploren efectivamente este volumen tan pequeño de suelo, el fertilizante debe colocarse cerca de la planta donde la raíz tiene más probabilidad de interceptar el P aplicado. A medida que el nivel de P disponible se reduce la localización del P en el suelo se hace más crítica.

Desde el punto de vista práctico, las opciones de tamaño de la partícula son frecuentemente determinadas por las propiedades físicas que permiten un adecuado manejo y por los requerimientos de tamaño para las mezclas físicas. Cuando se utilizan dosis óptimas de fertilizante y se determinan los niveles adecuados de P en el suelo, la importancia agronómica del tamaño de la partícula disminuye.

SOLUBILIDAD EN AGUA

La suma del P soluble en agua y el P soluble en citrato es comúnmente aceptada como una medida de disponibilidad del P para las plantas en el fertilizante. En los inicios de la industria de fertilizantes se prestó mucha atención a la solubilidad de P en agua porque los productos manufacturados en esa época variaban mucho con respecto a la solubilidad en agua. A medida que la industria a logrado productos altamente solubles en agua disminuyó el interés por la solubilidad del P en agua.

Muchos estudios se han conducido para evaluar el efecto de la solubilidad en agua en el comportamiento de los fertilizantes fosfatados. Estudios conducidos por Webb y Pesek (1959) demostraron que cuando se aplicó P al voleo antes de la siembra de maíz, el incremento de la solubilidad en agua de 0 a 92 % incrementó los contenidos de P en la hoja significativamente en solo 1 de los 11 experimentos y no se encontraron incrementos en rendimiento. Por lo que se ha discutido anteriormente en este artículo se esperaría mayor respuesta al incremento en la solubilidad en agua si se aplica el fertilizante en banda que cuando se aplica al voleo. Estudios en Iowa han demostrado que el grado de solubilidad del P en agua de los fertilizantes es más importante en suelos calcáreos que en suelos ácidos (Webb y Pesek, 1961).

Es generalmente aceptado que la solubilidad del P en agua es en cierta forma importante, pero parece poco probable que una solubilidad en agua mayor al 50% sea necesaria, aún para los cultivos que responden más al P y en suelos de bajo

contenido de este elemento.

La más reciente revisión bibliográfica sobre los requerimientos de solubilidad del P en agua de los fertilizantes fosfatados, para la mayoría de los cultivos, fue conducida por Engelstad y Hellums (1992). Esta revisión indica que la mayoría de los cultivos en regiones de clima templado (maíz, leguminosas, arroz, raíces y tubérculos, excluyendo la papa y el trigo) tienen requerimientos de P soluble en agua de 40 a 60% del total del contenido de P_2O_5 del fertilizante, si es que el resto es disponible cuando se mide por métodos convencionales de laboratorio. La excepción fueron las hortalizas incluyendo la papa para las cuales se reporta un requerimiento de P soluble en agua del 60 al 80%. La razón para este mayor requerimiento de las hortalizas es que estos cultivos crecen en un período muy corto de tiempo y tienen un sistema radicular no muy desarrollado. En contraste los cultivos de ciclo largo tienden a tener un sistema radicular mejor desarrollado que tiene mayor probabilidad de interceptar y absorber el P del suelo.

Si se comparan los requerimientos de solubilidad indicados anteriormente con la solubilidad en agua de los principales fertilizantes listados en la Tabla 3 se observan sustanciales diferencias. Desde el punto de vista agronómico, la solubilidad del fertilizante fosfatado puede reducirse significativamente para la mayoría de los sistemas de cultivo sin que exista una reducción en la efectividad. Los requerimientos de alta solubilidad son mayores en aquellos cultivos que crecen muy rápidamente y que tienen un ciclo muy corto de crecimiento lo que no permite el desarrollo de un adecuado sistema radicular.

Tabla 3. Solubilidad en agua de algunos fertilizantes fosfatados (Young et al., 1985).

Fertilizantes	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	P soluble en agua (%)
Superfosfato triple	0-46-0	88
Fosfato monoamónico	11-52-0	91
Fosfato diamónico	18-46-0	91

FORMA QUIMICA

Se han conducido numerosos estudios para comparar las diferentes formas químicas de los fertilizantes fosfatados. Murphy (1979) resume muchos de estos trabajos y reporta que el fosfato amónico y el superfosfato triple fueron generalmente iguales en su habilidad para suplementar P a las plantas. Datos de investigación han demostrado que la presencia de N amoniacal mejora la absorción de P por las plantas (Olson y Dreier, 1956; Grunes et al., 1958; Riley y Barber, 1971). Sin embargo, el N aplicado en la mayoría de los sistemas de cultivos, ya sea simultáneamente con o antes de la aplicación de P, es suficiente para hacer que la absorción del P por las plantas sea independiente del contenido de N y de la fuente de P (Murphy, 1984).

Recientemente se ha comparado la conducta de los ortofosfatos de amonio (MAP y DAP). Aún cuando a altas dosis el DAP localizado junto a la semilla en suelos calcáreos puede producir más quemadura en las semillas y en las plántulas que el MAP, la disponibilidad de estas dos fuentes de P en las dosis normales y en condiciones normales de campo es similar (Murphy, 1979; Fixen, 1989).

En general, si se cumple con los requerimientos de solubilidad en agua y tamaño de partícula discutidos anteriormente, es muy baja la probabilidad de que exista alguna diferencia en la efectividad agronómica de las diferentes fuentes de P manufacturadas por acidulación de roca fosfórica con ácidos sulfúrico, fosfórico o nítrico.

BIBLIOGRAFIA

Englestad, O. P. and Deborah T. Hellums. 1992. Water solubility of phosphate fertilizers: agronomic aspects - a literature review. International Fertilizer Development Center (IFDC), Muscle Shoals, Alabama.

Englested, O.P. and G.L. Terman. 1980. Agronomic effectiveness of phosphate fertilizers. p. 311-329. In F.E.Khasawneh et al. (ed). The Role of Phosphorus in agriculture. ASA, CSSA, SSSA. Madison, WI.

Grunes, D.L., H.R. Haine, and L.O. Fine. 1958. Proportionate uptake of soil and fertilizer phosphorus by plants as affected by N fertilization: Field experiments with sugar beets and potatoes. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22:49-52.

Inskeep, William P. and Jeffrey C. Silvertooth. 1988. Inhibition of hydroxyapatite precipitation in the presence of fulvic, humic, and tannic acids. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:941-946.

Murphy, L.S. 1979. MAP, DAP, poly and rock. North Central Extension Industry Soil Fertility Workshop, Oct. 31-Nov. 1, St Louis, MO.

Murphy, L.S. 1984. Water solubility of phosphate Fertilizers-agronomic considerations. The fertilizer Institute Task Force on Water Solubility of P Fertilizers. The Fertilizer Institute, Washington, D.C.

Olson, R.A. and A.F. Dreier. 1956. Nitrogen, a Key factor in fertilizer phosphorus efficiency. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 20:509-514.

Riley, D. and S.A. Barber. 1971. Effect of ammonium and nitrate fertilization on phosphorus uptake as related to root-induced pH changes at the root-soil interface. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:868-873.

Webb, J.R. and J.T. Pesek. 1958. An evaluation of phosphorus fertilizers varying in water solubility: II. Oat fertilization. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25:222-226.

Young, Ronald R., D.G. Estfall, and Gary W. Colliver. 1985. Production, marketing, and use of phosphorus fertilizers. In O.P. Engelstad (ed) Fertilizer Technology and Use, 3rd edition. SSSA, Madison, WI.

