

MEJORANDO LA EFICIENCIA DE USO DEL P CON TECNOLOGIA DE POLIMEROS

Drs. Larry Murphy, y Larry Sanders

murphyagro@cs.com jlarrysanders@specialtyfertilizer.com

El microambiente que rodea un gránulo de fertilizante fosfatado o en la banda de aplicación de fertilizante líquido se conforma en relación a una serie de reacciones primarias y secundarias que afectan sustancialmente la disponibilidad de este nutriente para los cultivos. Poder influir o reducir estas reacciones es uno de los medios para mejorar la eficiencia de uso del P aplicado, y así mejorar el rendimiento de los cultivos. Este trabajo informa sobre la tecnología de polímeros para mejorar la eficiencia de uso de los fertilizantes fosfatados resultando en mayores rendimientos y beneficios económicos.

Fertilizantes fosfatados - El problema

Durante mucho tiempo se sabe que incluso bajo las mejores condiciones solo entre el 20 y el 30% del fertilizante fosfatado aplicado es absorbido por el cultivo durante el primer año o ciclo de crecimiento. También se sabe que ante altos niveles de pH del suelo, el P es fijado por el calcio (Ca) y el magnesio (Mg) mientras que con niveles bajos de pH del suelo, la fijación es predominantemente por el hierro (Fe) y el aluminio (Al). Así, el problema histórico con la química de los fertilizantes fosfatados ha sido la disminución de la disponibilidad de P en los suelos ya sea por procesos de fijación, precipitación, cristalización, etc.

El fósforo residual no absorbido por el cultivo (70-80%), que permanece sobre o cerca de la superficie del suelo tiene posibles consecuencias negativas para el medio ambiente derivado de los efectos combinados de la erosión de suelo y de mayores concentraciones de P en las aguas de escurrimiento. Un producto fosfatado que sea más eficiente, que resulte en mayores respuestas del cultivo por unidad de P, que tenga un impacto positivo en el resultado económico de los productores a su vez producirá un menor impacto ambiental, por lo que sería altamente recomendable.

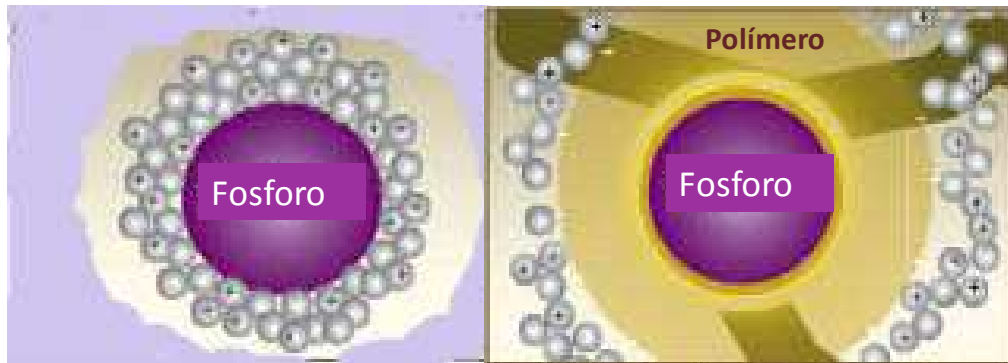
Fertilizantes fosfatados - La solución

La empresa tecnológica **Specialty Fertilizer Products** ha desarrollado y patentado una familia de copolímeros di-carboxílicos de alta densidad de carga que afectan la disponibilidad de los fertilizantes fosfatados y su utilización por las plantas. Estos compuestos son biodegradables y altamente solubles en agua. La tecnología (Avail[®]) puede aplicarse directamente a los fertilizantes granulados como un recubrimiento o capa de impregnación, o bien mezclarse en los fertilizantes líquidos a base de polifosfatos.

Modo de acción

La teoría del modo de acción es que la alta densidad de carga del polímero (aproximadamente 1500 meq/100 g del polímero) da lugar a la adsorción de los cationes polivalentes metálicos presentes en la solución del suelo, interrumpiendo y retrasando las reacciones normales de fijación de P; dando así por resultado una mayor disponibilidad de los fosfatos de amonio y de calcio altamente solubles en agua. La Tabla 1 muestra los resultados de un estudio de laboratorio adonde se variaron las concentraciones del polímero Avail aplicadas como cobertura al fosfato monoamónico granular (FMA), que fue colocado en soluciones de 100 ppm de Ca, de Fe y de Al. Las concentraciones resultantes de P en la solución sugieren

que el polímero afectó las reacciones de disolución de los tres cationes con el FMA, permitiendo que haya más P en la solución y en última instancia más P disponible para la absorción por las plantas.



Se teoriza que el polímero al disolverse en el suelo, adsorbe o secuestra los cationes antagonistas que reaccionan con el P en la solución del suelo,

presente en el microambiente que rodea el gránulo del fertilizante o en la banda del P líquido. Dado que el P es inmóvil, una vez que las características químicas del área de disolución del gránulo se han modificado, el P sin fijar puede ser absorbido por la planta sin interferencias.

Un interesante estudio conducido en la universidad de Washington por el Dr. Rich Koenig enfatizó los efectos del polímero Avail sobre la actividad de iones trivalentes de Al en solución. Se condujo un estudio de laboratorio para evaluar la sensibilidad de variedades de trigo a la toxicidad de Al con tres concentraciones de Al en el medio de crecimiento (fig. 1A). Se tomo como indicador de crecimiento la elongación de la raíz, cuya longitud se midió ante las distintas concentraciones de Al. Cuando el polímero Avail fue introducido en el medio de crecimiento, los efectos del Al desaparecieron (fig. 1B).

Tabla 1. Efecto de la cobertura con polímero en la solubilidad de MAP en varias soluciones.

| % polímero s/ MAP | Catión ppm | mg P/g MAP | % del P Total en Solución |
|----------------------|---------------|---------------|------------------------------|
| 0.00 | Al 100 | 236.9 | 45.5 |
| 0.25 | Al 100 | 298.4 | 57.4 |
| 0.50 | Al 100 | 284.5 | 54.7 |
| 0.75 | Al 100 | 326.0 | 62.7 |
| 1.00 | Al 100 | 309.4 | 58.9 |
| 0.00 | Ca 100 | 251.5 | 48.4 |
| 0.25 | Ca 100 | 295.8 | 56.9 |
| 0.50 | Ca 100 | 314.1 | 60.4 |
| 0.75 | Ca 100 | 310.4 | 59.7 |
| 1.00 | Ca 100 | 308.2 | 59.3 |
| 0.00 | Fe 100 | 289.9 | 55.8 |
| 0.25 | Fe 100 | 316.7 | 60.9 |
| 0.50 | Fe 100 | 303.5 | 58.4 |
| 0.75 | Fe 100 | 329.2 | 63.3 |
| 1.00 | Fe 100 | 305.2 | 58.8 |

20°C. 24 horas. Sin agitación.

Griffith, Kansas State University

Figura 1 A. Efecto del Aluminio en el crecimiento del trigo.

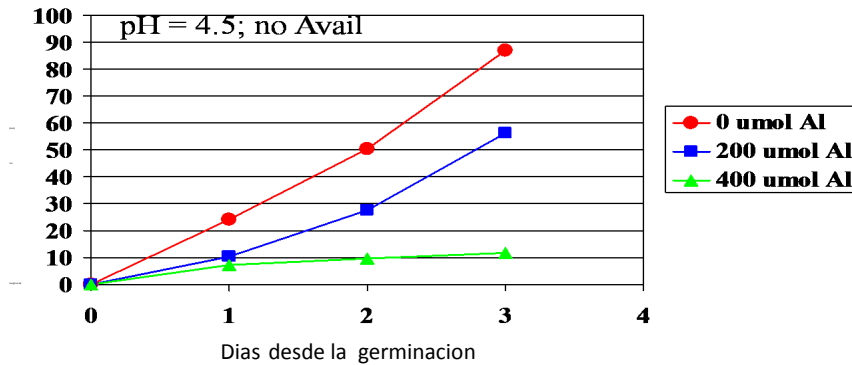
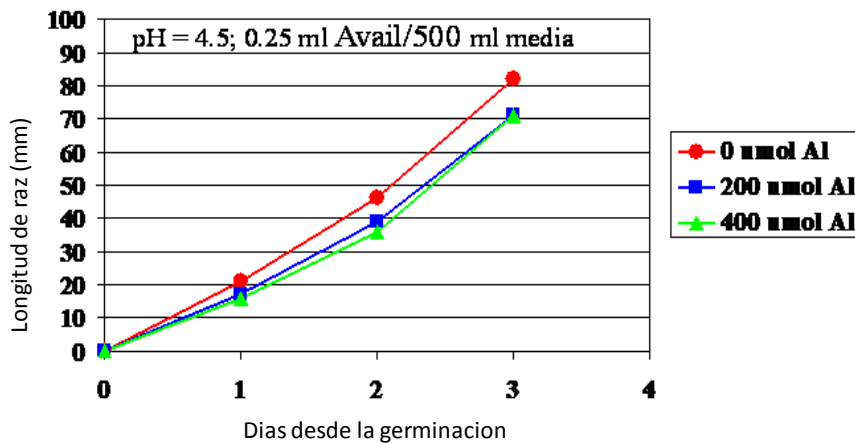


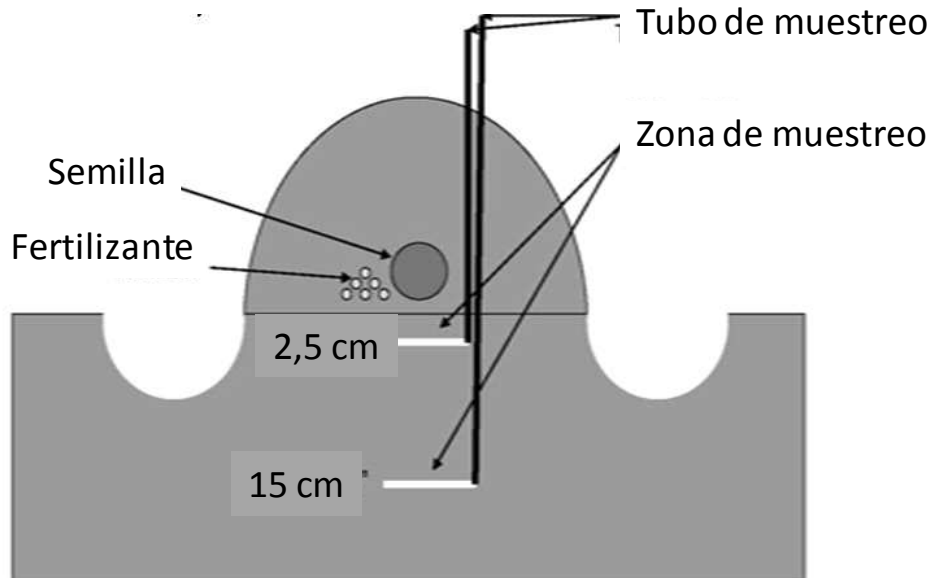
Figura 1 B. Efecto del aluminio en el trigo en presencia de Avail



Movilidad vertical de P

La mayor disponibilidad de P con la reducción de la fijación ha sido demostrada por una mayor movilidad vertical del P. Estudios recientes en Iowa con el uso de fertilizantes arrancadores fluidos en maíz (Kovar, 2006) han demostrado que puede aumentarse considerablemente la movilidad vertical del P en el suelo (10 cm) en presencia de altas concentraciones de iones de amonio (relación 2:1 N a P_2O_5) en la misma zona de retención del P edáfico. Se asume que esos iones de amonio, como el polímero, tienen reacciones que normalmente interrumpen la fijación de P al modificar el microambiente de la zona de aplicación del P. Experimentos llevados a cabo en la Universidad de Wisconsin (Laboski, 2007)) que estudiaron la movilidad del P del fertilizante fosfatado granular tratado con Avail (fig. 2) han demostrado concentraciones superiores de P en la solución del suelo. Citando a los investigadores, "A 2,5 cm debajo de la semilla las concentraciones de la solución de FMA + Avail, eran significativamente mayores que las de que FMA y el control, en las tres fechas de evaluación: 18 de junio (1ra floración), 2 de julio y 16 de julio. No hubo ninguna diferencia entre los tratamientos a los 15 cm debajo de la semilla". Estos resultados indican un cambio en las reacciones del P del suelo por la presencia del polímero Avail

Fig. 2. Esquema del muestreo para evaluar la movilidad del P en la solución de suelo. (Dr. Carrie Laboski, Univ. Wisconsin).



Efectos del polímero sobre las respuestas del cultivo al fósforo aplicado

Los efectos de la fertilización del fósforo sobre crecimiento vegetal y el rendimiento pueden ser influidos por varios factores incluyendo:

1. Métodos de aplicación del P
2. Tipo de cultivo
3. pH del Suelo
4. Nivel de P disponible del suelo
5. Dosis de uso de P

Investigaciones conducidas en invernadero y a campo han evaluado efectos del polímero sobre las respuestas al P aplicado al cultivo evaluando las variables mencionadas arriba. Estudios iniciales en invernaderos sobre suelos ácidos, de alta capacidad de fijación de P, proporcionaron el ímpetu positivo para continuar el trabajo a campo. Como en cualquier otra serie de investigaciones de este tipo, no todos los sitios han dado respuestas al tratamiento de impregnación de los fertilizantes fosfatados con el polímero. Sin embargo, considerando todos los sitios, el uso del revestimiento polimérico ha producido respuestas positivas en cerca de 80% de las veces.

Métodos de aplicación de P

Datos de trigo obtenidos en Arkansas (Tabla 2) demuestran que el FMA impregnado con el polímero fue más eficiente que el FMA sin recubrimiento. Los rendimientos obtenidos tanto en aplicaciones en bandas cerca de la semilla (arrancador), al voleo, como en mezclas al voleo de semilla y fertilizante fueron todos significativamente mayores con el fertilizante impregnado con Avail. El mayor aumento de rinde fue en las

aplicaciones en bandas; pero aun con la aplicación al voleo, reconocida como menos eficiente, también los rindes aumentaron consistentemente con el FMA impregnado con Avail.

Tabla 2. Efectos del método de aplicación de P y Avail sobre el rendimiento de trigo.

| Tratamiento | kg/ha |
|------------------------------|-------|
| Testigo | 2.928 |
| FMA bandas | 3.430 |
| FMA + Avail, bandas | 4.822 |
| FMA voleo | 3.649 |
| FMA + Avail, voleo | 4.113 |
| FMA + semilla, voleo | 3.455 |
| FMA + Avail + semilla, voleo | 4.282 |
| DLS 5% | 470 |

30 kg P₂O₅/ha. Nivel de P suelo bajo, pH 7 Palmer, Univ. de Arkansas

Datos de experimentos conducidos en Australia (Holloway, 2005) demuestran que la cobertura de polímero sobre FMA supero al FMA sin tratar en tres niveles de aplicación de P en suelos altamente calcáreos. Aunque estuvieron limitadas por las lluvias, los rendimientos aumentaron cerca de un 10% en estos suelos de alto pH con gran cantidad de carbonato de calcio libre. Estudios en trigo sobre un suelo ácido pero con alta disponibilidad de P (75 ppm Bray) de Kansas también mostraron una respuesta significativa del rinde con el tratamiento del FMA con polímeros. Aunque estos suelos tienen altos niveles de P, también tienen una alta capacidad de la fijación debido a su pH muy bajo (4.7). Experimentos en maíz de Missouri (Tabla 3) indican un ejemplo de la performance de Avail en suelos ácidos (pH 5.9) combinado con bajos niveles de disponibilidad, adonde se evaluaron aplicaciones de P en bandas y al voleo. Los datos no indicaron respuesta al FMA no tratado, pero si una respuesta significativa al FMA revestido con el polímero (1,3 t/ha).

Tabla 3. Respuesta del maíz a la mayor disponibilidad de P.

| Tratamiento | kg/ha |
|---------------------------|-------|
| Testigo sin P | 8.465 |
| FMA, voleo | 8.276 |
| FMA + Polímero, voleo | 9.468 |
| FMA, en bandas | 8.276 |
| FMA + Polímero, en bandas | 9.844 |
| DLS 5% | 1.003 |

20 kg P₂O₅/ha. P - Bray: 7 ppm pH: 5.9, Blevins, Univ. de Missouri

También se observaron buenas performances en suelos neutros, bien a moderadamente provistos de P en Kansas. Los rendimientos de maíz irrigadas aumentaron entre 0,50 y 1,30 t/ha con FMA impregnado con el polímero aplicado como arrancador por sobre el FMA sin tratar (Tabla 4). Tanto la biomasa en estadios juveniles, como las concentraciones de P en planta P y la absorción total de P aumentaron por la mayor disponibilidad de P en este estudio de tres años. La soja también respondió bien al FMA tratado con el

polímero aplicado como arrancador en bandas, con aumentos de la producción de hasta 1 t/ha por sobre el FMA sin recubrimiento (Tabla 5) en esta misma localidad. Esto indicaría que aun hay oportunidades para manejar el P en suelos bien provistos con niveles moderados de pH.

Tabla 4. Respuesta del maíz bajo riego a la mayor disponibilidad de P en Kansas

| Tratamientos | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|---|-------|----|-------|---|
| kg P ₂ O ₅ /ha | Año 1 | | Año 2 | | Año 3 | |
| Testigo | 10,8 | b | 7,5 | e | 10,6 | d |
| 20 FMA | 12,0 | a | 8,9 | d | 12,0 | c |
| 20 FMA + Avail | 12,5 | a | 10,8 | bc | 13,2 | a |
| 40 FMA | 12,1 | a | 10,5 | c | 11,8 | c |
| 40 FMA + Avail | 12,1 | a | 11,9 | ab | 13,2 | a |
| 60 FMA | 12,1 | a | 10,8 | bc | 12,2 | b |
| 60 FMA + Avail | 12,6 | a | 12,2 | a | 13,2 | a |

Test de Duncan, 5% Gordon, Kansas State Univ.
P en bandas a la siembra. pH: 6.8. 25-38 ppm P Bray-1.

Tabla 5. Respuesta a la mayor disponibilidad de P en soja bajo riego

| Tratamientos | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|---|-------|---|-------|--|
| kg P ₂ O ₅ /ha | Año 1 | | Año 2 | | Año 3 | |
| | t/ha | | | | | |
| Testigo | 3,28 | d | 2,02 | d | 3,78 | |
| 30 FMA | 3,91 | c | 2,58 | c | 4,41 | |
| 30 FMA + Avail | 4,41 | b | 3,59 | a | 4,91 | |
| 60 FMA | 3,91 | c | 2,96 | b | 4,66 | |
| 60 FMA + Avail | 4,60 | a | 3,65 | a | 4,91 | |

Test de Duncan al 5%. P en bandas al costado línea siembra. Gordon, Kansas State Univ.
P-Bray: 38 ppm; pH: 6.8.

Otros estudios con suelos con valores de pH superiores a 7.0 fueron conducidos con trigo en la universidad de Arkansas (Tabla 2) y en la universidad de Minnesota con maíz (Tabla 6). Todos éstos demostraron que las respuestas positivas al FMA y FDA cubiertos con el polímero Avail compararon favorablemente con materiales no tratados.

Cultivos

Los fertilizantes fosfatados impregnados con el polímero Avail produjeron mayor absorción de P y rendimientos crecientes en un amplio rango de cultivos. Se han conducido experimentos que así lo demuestran en repollos, pasturas, maíz, trigo, cebolla, arroz, tomates, maíz dulce, canola y papas. En ellos, las mayores respuestas al P del fertilizante recubierto respecto de aquellos sin tratar indican que la causa es un fenómeno de química de suelos, y no asociada a una determinada especie.

Tabla 6. Mayor disponibilidad de P en maíz en Minnesota

| Fuente de P | P absorbido en V6 | Rinde |
|--------------------------------------|-------------------|-------|
| kg P ₂ O ₅ /ha | g/12 plantas | t/ha |
| Testigo sin P | 1,85 | 9,11 |
| 25 FDA | 1,77 | 10,12 |
| 25 FDA + Avail | 2,72 | 11,52 |
| 50 FDA | 2,17 | 10,39 |
| 50 DAP + Avail | 2,47 | 11,73 |
| LSD (0.05) | 0,79 | 1,47 |

P al voleo. pH: 7.3 P Olsen 7 ppm, Randall, Univ. of Minnesota, Waseca

Impregnar FMA con el polímero también ha sido eficaz en suelos ácidos, con capacidad de fijación de P en estudios con pasturas llevados a cabo en Kansas y Missouri. Los datos de la tabla 7 indican cómo aplicaciones al voleo de fosfatos tratados con Avail durante el período inactivo invernal aumentaron la absorción de P y la producción de forraje. Estos efectos fueron también evidentes visualmente. Sin embargo, no hubo aumentos de producción en etapas tempranas del crecimiento en Festuca en Kentucky

Tabla 7. Respuesta a la mayor disponibilidad de P en pasturas de invierno (Cebadilla y Festuca alta en Kansas y Missouri).

| Tratamientos | Cebadilla | Cebadilla | Festuca |
|----------------|-----------|-----------|--------------|
| | Miami, KS | Miami, KS | Lawrence, MO |
| Sin P | 5610 | 3531 | 3406 |
| FMA | 5819 | 4576 | 4831 |
| FMA + Polímero | 6611 | 5181 | 5196 |
| DLS (10%) | 627 | 891 | 860 |

Suelos ácidos de Bajo P, 20 kg P₂O₅/ha. MO 90 kg N/ha, KS 100 kg N/ha
Lamond, Kansas State Univ. Massie, Univ. de Missouri

Efectos de la dosis del polímero.

Los estudios iniciales de dosis de polímero aplicado sobre los fertilizantes fosfatados granulares sólidos incluyeron formulaciones de hasta 1 % de polímero. Sin embargo, los ensayos siguientes conducidos en invernaderos y estudios a campo indicaron que podían usarse dosis mucho más bajas. Los datos de la tabla 8 indicaron que las dosis podrían reducirse al 0.25 % sin pérdida de eficiencia. Esa es la dosis que actualmente se recomienda para todos los fertilizantes sólidos de P (FMA, FDA, SPT y SPS).

Tabla 8. Efectos de la dosis de polímero Avail en el rinde de maíz en Kansas.

| Tratamientos | Biomasa en V-6 | Absorción de P en V-6 | Rinde |
|-------------------|----------------|-----------------------|-------|
| | kg/ha | | t/ha |
| Testigo sin P | | | |
| FMA | 551 | 1,47 | 8,11 |
| FMA + 1% AVAIL | | | |
| FMA + 0.75% AVAIL | 644 | 1,74 | 9,11 |
| FMA + 0.5% AVAIL | | | |
| FMA + 0.25% AVAIL | 661 | 1,82 | 9,18 |
| DLS 10% | | | |

P en bandas 30 kg P₂O₅/ha. P Bray: 9 ppm, pH: 7.4. Lamond, Kansas State Univ.

Efecto del polímero en los fertilizantes fluidos

También se evaluaron en algunos ensayos los efectos del polímero en formulaciones fluidas de fertilizantes fosfatados, principalmente polifosfatos de amonio. Considerando que una banda de aplicación de un fluido tiene una geometría mucho menos definida que la capa del polímero en una partícula sólida, las dosis de polímero precisan ser superiores al 1% en peso, con resultados más seguros con 2% al menos.

Trabajos adicionales con nuevos polímeros usando arrancadores fluidos en maíz usando varias dosis y una formulación modificada estableció la recomendación actual en concentraciones del 0.5% al 1,5 % (volumen/volumen) de Avail en fertilizantes fluidos formulados como arrancadores.

Conclusiones

Poder influir o controlar las reacciones químicas en el microambiente alrededor de los gránulos del fertilizante ha demostrado tener ventajas significativas para el destino y la disponibilidad de nutrientes como el fósforo aplicado a los cultivos y la respuesta subsiguiente al P. El objetivo de los productores siempre ha sido proporcionar la cantidad óptima de fertilizantes para alcanzar siempre el máximo rendimiento económico según el potencial genético de los híbridos y variedades. Con esta tecnología de polímeros, la investigación demuestra que la modificación del microambiente alrededor del fertilizante fosfatado afecta la absorción y la utilización de este nutriente en una amplia variedad de especies a las dosis normales de fertilización. Esta tecnología no sólo tiene el potencial para mejorar los rendimientos de los cultivos sino también dar beneficios económicos al productor así como también tiene implicancias positivas en el impacto ambiental del uso de fertilizantes.